

Sään ääri-ilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset
Yhdysvalloissa nyt ja tulevaisuudessa

Olli Oinonen

LuK-seminaari ja -tutkielma 790351A

Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun Yliopisto

7.12.2020

Tiivistelmä

Tutkimustyöni aiheena on sään ääri-ilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Yhdysvalloissa nykyhetkestä tulevaisuuteen. Pohjustan ensin työtäni teoriaosuudella sekä sään ääri-ilmiöistä, että ilmastonmuutoksesta. Ilmastonmuutos osiossa painotan vaikutusta sään ääri-ilmiöihin ja lopuksi kuvailen hieman Yhdysvaltojen luonnonmaantiedettä. Tämän jälkeen kerron sään ääri-ilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutuksista Yhdysvaltoihin aluekohtaisesti. Peruskysymyksenä tutkimuksessani on, miten sään ääri-ilmiöt ja ilmastonmuutos vaikuttavat Yhdysvalloissa nyt ja tulevaisuudessa.

Olen jakanut tutkimuksessani Yhdysvallat viiteen eri alueeseen, jotka ovat läntinen, itäinen, ja keskiosa, sekä Alaska ja saarialueet. Kerron havainnoistani alueittain järjestyksessä ja lopuksi olen taulukoinut merkittävimmät vaikutukset alueittain. Tätä tukeakseni käytin aluejaon mukaisesti viittä eri tapausesimerkkiä, jossa perehdyin yhden alueen sään ääri-ilmiön ja/tai ilmastonmuutoksen vaikuttamaan tapahtumaan. Käsittelen esimerkiksi Kalifornian maastopaloja, suurten tasankojen vuoden 2017 kuivuusjaksoa, hirmumyrsky Sandyä, meren lämpötilan nousun vaikutuksia Alaskassa ja tulvien vaikutusta Tyynenmeren saarilla. Tärkeimpänä havaintoina yleisesti tutkimuksessa kävi ilmi lämpötilan nousu, muutokset sademäärissä, biodiversiteetin ja eliöstön muutokset, erilaisten katastrofien määrällinen kasvu sekä intensiteetin voimistuminen, muutokset erityisesti maatalouden ruoantuotannossa, ja vesipulan yleistymisen.

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä pohdin, että ovatko ilmastomallit luotettavia. Tutkimuksen edetessä käy selvästi ilmi, että ennustuksiin perustuvia ilmastomalleja ei voida pitää 100 prosentin varmuudella faktana. Toisaalta nykypäivän tutkimusmenetelmien luotettavuuden ansiosta niihin voidaan kuitenkin perustaa erinäisiä arvioita tulevaisuudesta, joiden mukaiseksi meidän tulisi muokata toimintaamme ilmastonmuutosta hidastaaksemme. Nostin myös esille kysymyksen siitä, ovatko ilmastokonfliktien määrät lisääntymässä tulevaisuudessa, löytäen tähän selkeän vastauksen. Nykyään etenkin vesipulasta johtuvia konflikteja on ilmennyt osavaltioiden välillä ja jatkossa niiden määrän odotetaan lisääntyvän entisestään. Pohdin myös hieman tulevaisuutemme näkymiä 2100-luvulle ja tiivistettynä tässä tutkimuksessa havaitaan ilmastollisten vaikutusten Yhdysvalloissa muuttuvan tulevaisuudessa hyvin erilaisiksi nykyiseen verrattuna, mikäli emme tee muutoksia kulutustapoihimme lähitulevaisuudessa.

Sisällys

Johdanto	1
Teoria.....	2
Sään-ääri-ilmiöt	2
Ilmastonmuutos.....	4
Yhdysvaltojen luonnonmaantieteelliset piirteet	5
Sään ääri-ilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Yhdysvalloissa nyt ja tulevaisuudessa	6
Länsirannikko.....	6
Keskilänsi	9
Itärannikko.....	13
Alaska.....	16
Saaret ja saaristot	18
Esimerkkitapauksia Yhdysvalloista	21
Länsirannikko, maastopalot 2018 ja (2020)	21
Keskilänsi ja Suuret tasangot, kuivuusjakso 2017	22
Itärannikko, trooppinen hirmumyrsky Sandy 2012.....	23
Alaska, meren lämpöaalto 2016.....	25
Saarialueet, tulvat 2003.....	26
Pohdinta	27
Lähdeluettelo.....	30
Liitteet.....	34

Johdanto

Ilmastonmuutos on alkanut noin 1900-luvun alussa, kun hiilidioksidipäästöjen määrä ilmakehässä alkoi lisääntymään teollisuuden vaikutuksesta ja sen ohessa sään ääri-ilmiöt ovat voimistuneet aiheuttaen yhä merkittävämpiä tuhoja maapallolla. Siitä eteenpäin, kun ensimmäiset havainnot lämpenemisestä tehtiin tutkijoiden toimesta, on ilmastonmuutosta sekä sään ääri-ilmiöitä tutkittu jatkuvasti, jotta saataisiin selkeämpi kuva, miten maapallo on muutoksessa ja kuinka se näkyy ihmiskunnan tulevaisuudessa.

Tutkimusalueena perehdyin etenkin Yhdysvaltojen muuttuvaan ilmastoon ja siellä tapahtuviin ääri-ilmiöihin sekä sen hyvin vaihteleviin muutoksiin alueittain. Tutustuin myös vuoden 2020 aikana roihunneisiin Kalifornian maastopaloihin, jotka polttivat noin 2,5 miljoonan hehtaarin maa-alueen ja tuhosivat arviolta yli 10 000 kotia. Lisäksi ne aiheuttivat arviolta yli tuhannen ihmisen kuoleman suoraan tulen vaikutuksesta tai savulle altistumisen takia (Higuera & Abatzoglou 2020) ja levittivät ilmatieteenlaitoksen mukaan savua ympäri maailmaa aina Suomea myöten (Tiedote... 2020). Tutkimusalueena Yhdysvallat on hyvin laaja, joten päätin jakaa tutkimusalueen viiteen eri osaan: läntiseen, itäiseen, ja keskiosaan, sekä Alaskaan ja saarialueisiin (ks. liitteet Kuva 1).

2000-luvulla tutkimusta on tehty hyvin laajasti ja tutkijat ovatkin lähes yhtä mieltä siitä, että ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt ovat voimistuneet merkittävästi 1900-luvulta nykypäivään. Tutkimusta onkin tehty etenkin suuntaan, jossa on selvitetty ilmastonmuutoksen kehitystä vuosi vuodelta ja tehty erilaisia arvioita ja ilmastomalleja siitä, miltä tulevaisuus eri ilmastomallien ennustamana voisi näyttää. Tämä on herättänyt itselläni kysymyksen siitä, ovatko ilmastomallit luotettavia? Voidaanko niihin luottaa täysin sokeasti ja esittää ennusteita faktana. Toisena kysymyksenä on herännyt se, miltä tulevaisuutemme näyttää vuosisadan lopussa Yhdysvalloissa. Ja kolmantena kysymyksenä haluan selvittää, onko ilmastokonfliktien määrä mahdollisesti nousussa Yhdysvalloissa ja mitä syitä tähän on?

Tässä tutkimuksessa haluan perehtyä tarkemmin juuri ilmastonmuutoksen sekä sään ääri-ilmiöiden yhteisvaikutukseen Yhdysvaltojen alueella viiden eri aluejaon kautta. Pyrin selvittämään alueiden erilaisia ilmastollisia muutoksia, kuten lämpötilan nousua, sekä näiden muutosten suuruutta. Tutkimuksen ajankohtana käytän nykyhetkeä ja tulevaisuutta ja tuen tutkimustani viidellä eri tapausesimerkillä, joista yksi on jokaiselta eri aluejaolta.

Teoria

Sään-ääri-ilmiöt

Sään ääri-ilmiöistä puhuttaessa on hyvä tietää, mitä käsitteellä sää ylipäättään tarkoitetaan. Lähtökohtaisesti ilman aurinkoa ei olisi elämää, joten sääilmiöiden merkittävänä energialähteenä toimii aurinko. Auringon säteilyenergian määrä vaihtelee eri puolella maapalloa vuodenaikojen ja leveysasteiden mukaan (Karttunen 2008: 15). Säällä tarkoitetaan ilmakehän hetkellistä tilaa tietyssä paikassa tietyssä aikana ja siihen vaikuttaa lukuisia tekijöitä, kuten lämpötila, sademäärä, pilvisuus, tuulisuus, auringon säteily, ilmanpaine- ja kosteus. Säätä voidaan ennustaa lähitulevaisuuteen muutamien tuntien päähän hyvinkin tarkasti, mutta mitä pidemmälle ennustukset menevät, sitä epätarkemmiksi ne myös muuttuvat (Brander ym. 2013: 58).

Kun ymmärtää käsitteen sää, voi paremmin tutkia myös sään ääri-ilmiöitä. Yleisesti ääri-ilmiöllä tarkoitetaan jotakin harvoin tapahtuvaa, poikkeuksellista elementtiä säätilassa tietyllä paikalla tietyssä aikana vuodesta. Asian ymmärtäminen on tärkeää, sillä tietyllä alueella tapahtuva sääilmiö voi olla täysin tavanomainen, kun taas toisaalla se voi olla sään ääri-ilmiö. Lisäksi sääilmiö, joka aiheuttaa hyvinkin suuria tuhoja, voidaan yleensä lukea sään ääri-ilmiöiden joukkoon, huolimatta siitä, että se olisi hyvinkin tavanomainen kyseisellä alueella (Saukkonen 2020: 7–9). Ilmiöstä merkittävämmän tekee usein se, millaisia vaikutuksia sään ääri-ilmiöllä on alueella eläviin ihmisiin ja ympäristöön (Global... 2010). Yleisesti sään ääri-ilmiöitä pidetään lyhytaikaisina tapahtumina, mutta ne voivat olla myös pidempiaikaisia ilmiöitä, kuten pitkään jatkunut kuivuus tai viikkoja kestänyt sadejakso (Saukkonen, 2020: 7–9).

Sään ääri-ilmiöiden esiintyvyys on hyvin vaihtelevaa. Niitä voi esiintyä missä päin maapalloa tahansa ja mihin vuodenaikaan tahansa (Global... 2010). Mutta milloin sään ääri-ilmiöitä voidaan pitää poikkeuksellisina? Tätä selvittäessä on tutkittava alueen tavanomaista säätä ja ilmastoa. Sään ääri-ilmiöistä puhuttaessa on otettava huomioon myös ilmastonmuutokseen. Nämä ilmiöt ovat yhteydessä toisiinsa, sillä lämpötilan nousulla on vaikutuksia useisiin muihin maapallolla tapahtuviin muutoksiin, kuten merenpinnan nousuun, jäätiköiden sulamiseen ja lumipeitteen vähenemiseen. Ilmastonmuutoksen vaikutus on myös lisännyt sään ääri-ilmiöiden yleisyyttä ja tuhoisuutta, tehden myrskyistä aiempaa voimakkaampia ja kuivuusjaksoista entistä pidempiä (Saukkonen 2020: 7–9).

Mutta miksi sään ääri-ilmiöitä pidetään niin tärkeinä tutkimuskohteina? Tuhoisia myrskyjä tapahtuu jatkuvasti ympäri maapalloa eikä niitä voida täysin estää. Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen

voimistuessa sään ääri-ilmiöt tulevat lisääntymään kaikkialla ja niiden voimakkuus tulee ennusteiden mukaan kasvamaan. Lisäksi ne tulevat aiheuttamaan monenlaista tuhoa ihmisille, taloudelle ja ympäristölle. Ensimmäisenä ongelmana tulevat omaisuusvahingot. Nykypäivän rakennustekniikka on hyvin tehokasta ja materiaalit kestäviä, ja sään ääri-ilmiöitä osataan rakentaessa ennakoida paremmin. Nykyaikana rakennukset tehdään voimakkainta ennustuksien mukaan mahdollista ääri-ilmiötä silmällä pitäen. Yhä useammin käy kuitenkin niin, että ennustukset arvioivat ääri-ilmiön voimakkuuden alakanttiin ja tuhoista voi tulla varautumisesta huolimatta hyvin merkittäviä. Yksistään vuonna 2008 Yhdysvalloissa sääilmiöiden aiheuttamat taloudelliset vahingot olivat noin 30 miljardia dollaria ja todennäköisesti vielä enemmän, sillä osan vahingoista korvasivat suoraan vakuutusyhtiöt (Global... 2010).

Toisena asiana tulevat pysyvät muutokset alueiden ekosysteemeissä. Esimerkkinä voidaan mainita Hurrikaani Katriinan aiheuttamat pysyvät muutokset alueella. Myrskyn aiheuttaman tulva-aallon seurauksena noin 190 neliökilometriä kosteikkoja sekä kuivan maan alueita jäi pysyvästi veden alle, altistaen Louisianan rannikon uusille myrskyille. Lisäksi lukuisat saarialueet, jotka suojaavat myrskyjen nostattamilta aalloilta, menettivät pinta-alaa merkittävästi. Vakava syy ottaa sää huomioon on myös sen aiheuttamat kuolemat ja loukkaantumiset. Vaikka myrskyjen ennustaminen ja tiedottaminen on parantunut vuosi vuodelta, niin silti vuonna 2008 menehtyi 568 ihmistä sään aiheuttamissa tapaturmissa (Global... 2010).

Taloudellisen tilanteen heikkeneminen sään ääri-ilmiöiden seurauksena on myös vakava ongelma, ja kuten yllä mainittiinkin, ovat omaisuusvahingot yksi suurimmista kustannuseristä. Ongelmia aiheuttavat myös tuotantoketjussa tapahtuvat pysähdykset, jotka lisäävät taloudellisia menetyksiä tuottavuuden alenemisen seurauksena, kun tehtaot joutuvat laittamaan ovensa kiinni. Pahimmillaan tehtaoiden rakennukset saattavat kärsiä mittavia vahinkoja tai tuhoutua jopa kokonaan. Lisäksi tavaroiden kuljetukset niin maalla, ilmassa kuin merelläkin seisahtuvat myrskyalueella ja työntekijät ovat pakotettuja jäämään koteihinsa. Näiden kustannusten lisäksi ympärivuorokautinen hälytysvalmiuden ylläpito lisää kustannuksia, sillä myrskyvalmisteluja joudutaan tekemään paljon ja järjestyksenvalvontaan tarvitaan paljon armeijan- sekä poliisin henkilökuntaa. Suuria kustannuksia syntyy myös sään ääri-ilmiöiden jälkituhojen raivauksesta ja palokunnan tarpeesta. Liittovaltion hallitus käyttää pelkästään palonsammutustoimiin noin miljardi dollaria vuodessa. Kustannukset ovatkin olleet koholla viime vuosien aikana sään ääri-ilmiöiden yleistyttyä (Global... 2010).

Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan yleisesti maapallon keskilämpötilan pidempiaikaista muutosta ja siitä johtuvien seurauksien sarjaa, mutta mikä erottaa sen sään ääri-ilmiöistä? Ilmastonmuutoksessa on kyse laajemmista globaaleista pitkäaikaisista muutoksista, kuten lämpötilan noususta, kuivuudesta, rankkasateista ja myrskyjen voimakkuuden muutoksista. Myös lämpötilan noususta johtuva lumien ja jäätiköiden sulaminen toimii voimakkaana tekijänä meren pinnan nousussa. Sään ääri-ilmiöt sen sijaan ovat seurausta edellä mainituista muutoksista. Esimerkiksi lämpötilojen nousu aiheuttaa ennätyskeltejä sekä entistä pidempiä kuivuusjaksoja, ja meriveden lämpötilan nousu voimistaa hurrikaaneja (Saukkonen 2020: 7–9).

Nykypäivänä ihmistoiminnan aiheuttamat tekijät ovat vaikuttaneet ilmastonmuutoksen kiihtymiseen enemmän kuin luonnolliset syyt. Fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen ja öljyn käyttö on suurin syy, minkä takia viimeisen 50 vuoden aikana ilmasto on lämmennyt niin nopeasti, ja voidaankin jopa puhua, että vuosi 2020 on uusi 2050 ja vastaavasti 2100 on uusi 2050. Tällä viitataan siihen, kuinka paljon nopeammin ilmastonmuutos on saavuttanut tietyn tason verrattuna ennusteisiin (Glantz & Ye 2010: 4). Myös laajat metsien hakkuut ovat lisänneet hiilidioksidipäästöjä. Etenkin hiilidioksidi päästöjen lisääntyminen on ollut merkittävä tekijä. Tämä on voimistanut kasvihuoneilmiötä, ja johtanut ilmaston lämpenemiseen. Vaikka maapallo tarvitseekin luontaista kasvihuoneilmiötä selviytyäkseen, on kasvihuonekaasujen liian nopea lisääntyminen kuitenkin haitaksi ilmaston normaalille tasapainolle (Melillo ym. 2009: 9–15).

Ilmastonmuutoksen vaikutusta sään ääri-ilmiöihin ei ole tutkittu kovinkaan paljoa ja pitkään on väitetty, ettei yksittäisellä ilmastotapahtumalla ole yhteyttä ihmisen aiheuttamaan ilmastonmuutokseen, mutta esimerkiksi Peter Stott (2016) havaitsi tutkimuksessaan yhteyden ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ja sään ääri-ilmiöiden välillä. Tutkimuksessa havainnoitiin ääriämpötiloja sekä sademäärien äärioloja kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä tutkimuksessa tehtiin kaksi mallinnusta ja ne simuloitiin niin, että toisessa mallinnuksessa ei otettu huomioon antropogeenistä ilmastonmuutosta. Tämän jälkeen voitiin tutkia kahdella eri mallinnuksella esimerkiksi keskilämpötilaa, ja näiden kahden mallin välillä havaittiin, että ihmistoiminnalla on ollut ääriämpötiloihin voimistava vaikutus suuremmalla todennäköisyydellä.

Toisessa Stottin (2016) mallinnuksessa, jossa tutkittiin sateisuuden äärioloja, ei havaittu ihmistoiminnalla olevan voimistavaa vaikutusta sateisuuden äärioloihin. Tässä tutkimuksessa tuotettiin ensin ilmakehämallinnuksia, joissa vertailtiin tuloksia poikkeuksellisista sadejaksoista. Kun

vastaavanlainen jakso havaittiin, vertailtiin sitä mallinnuksiin ilman ihmistoiminnan vaikutusta ja sen kanssa. Tuloksissa ei havaittu eroavaisuuksia, joten tässä tapauksessa ilmastonmuutoksella ei ollut vaikutusta sään ääri-ilmiöön.

Tutkimuksessa kuitenkin todetaan, että erilaista lämpötiladataa on tutkittu historian aikana huomattavasti enemmän ja tulokset ovat paljon laadukkaampia vertailtuna äärimmäisen sadejakson tuloksiin, mitkä ovat usein epätarkkoja tai huonosti mitattuja, eikä niitä vielä täysin ymmärretä. Tämän seurauksena voidaan todeta, että tuloksien vertailu ei ole keskenään vertailukelpoista toisen tutkimuksen puutteellisen tutkimusdatan takia. Mutta kokonaisuutena ensimmäisessä tutkimuksessa, missä datan tutkiminen on korkealla tasolla, voidaan havaita ilmastonmuutoksen vaikuttavan sään ääri-ilmiöihin (Stott 2016).

Yhdysvaltojen luonnonmaantieteelliset piirteet

Yhdysvaltojen alue rajautuu ympärillä oleviin vesistöihin, jotka ovat Tyynimeri, Jäämeri, ja Atlantti. Etelässä sijaitsee Meksiko ja Etelä-Amerikka ja pohjoisessa Kanada. Yhdysvalloissa asukkaita on noin 331 miljoonaa (United States population 2020) ja suurimmat asutuskeskittymät sijaitsevat länsirannikolla ja itärannikolla. Länsirannikko on paikoin hyvin vuoristoista aluetta verrattuna esimerkiksi itärannikkoon ja siellä sijaitsee Kalliovuoristo. Tämä jatkuu aina Kanadasta New Meksikon osavaltioon asti. Yhdysvaltojen itäosissa sijaitsee myös toinen hyvin tunnettu vuoristoryhmä Appalakit, jotka ulottuvat Kanadan itäosista lähtien aina Alabaman osavaltioon asti. Kolmas tärkeä vuoristoryhmä sijaitsee Alaskan alueella ja siellä onkin Yhdysvaltojen ja koko Pohjois-Amerikan korkein vuori Denali, joka ulottuu 6190 metrin korkeuteen (Introduction... 2019).

Yhdysvaltojen laajan koon vuoksi siellä on myös useita eri metsätyyppejä ja kasvillisuusvyöhykkeitä (ks. liitteet Kuva 2). Pohjoisessa, Alaskan alueella, sijaitsee laajimmat tundran sekä havumetsävyöhykkeen alueet. Muualla Yhdysvalloissa kasvillisuus on paljon vaihtelevampaa. Länsirannikon pohjoisosissa pääasiallinen maastotyyppi on havumetsä, mutta etelämpänä sijaitsee paljon pensasaroja sekä aavikkoalueita. Myös savannialueita ja Välimeren kasvillisuuden alueita löytyy, mutta ne ovat pinta-alaltaan hyvin pienikokoisia. Tasankojen ja keskilännen alueella kasvillisuusvyöhykkeet ovat helpommin tunnistettavissa, sillä laajat ruohotasangot peittävät suuren osan alueesta. Keskilännessä on enemmän myös lehtimetsiä sekä muuta sekametsää, ja nämä peittävät myös valtaosan itärannikosta havumetsän ohella. Yhdysvaltojen alue sijaitsee lukuisten kasvillisuusvyöhykkeiden lisäksi myös monien eri ilmastovyöhykkeitä vaikutuspiirissä (Introduction... 2019) (ks. liitteet Kuva. 3).

Sään ääri-ilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Yhdysvalloissa nyt ja tulevaisuudessa

Länsirannikko

Yhdysvaltojen länsirannikko on alueena hyvin laaja ja se kattaa kaiken Seattlesta Los Angelesiin ja kalliovuorten länsipuolelle asti. Alueella on siis monenlaisia ilmastoja sekä kasvillisuusalueita. Isona muutoksena tällä alueella on viime vuosina lisääntynyt kuivuus. Ongelmana on myös se, että väestönkasvu länsirannikon eteläosien kuivilla alueilla on kasvanut 40-luvulta nykypäivään eniten koko Yhdysvaltojen mittakaavassa, joten veden tarve on noussut jatkuvasti. Lämpötila on noussut alueella merkittävästi ja sademäärissä on tapahtunut huomattavia muutoksia. Alueelle tärkeänä vedenlähteenä toimiva Coloradojoki on myös menettänyt virtaamastaan huomattavan osan. Tämä on seurausta siitä, että kalliovuorilla lämpötilat ovat nousseet ja alueella ei ole satanut lunta niin paljon kuin ennen ja kokonaissademäärät ovat pienentyneet merkittävästi (Melillo ym. 2009: 129). Tämä on pienentänyt esimerkiksi Coloradojoen virtaamaa tärkeinä kuukausia eli juuri kesällä pahimpien kuivuusjaksojen aikana. Tämä on myös vakava uhka alueen ekosysteemeille, jotka ovat riippuvaisia vedestä (Chang & Bonnette 2016: 16). Normaalisti kesäkuukausina alueella virtaisi vettä suurten lumimassojen sekä jäätikön sulamisvesien seurauksena, mutta niiden määrät ovat vähentyneet vuosi vuodelta. Nykyään alueella onkin kuivimpien kuukausien aikana turvauduttu fossiiliseen pohjaveteen (Melillo ym. 2009: 129).

Tulevaisuudessa ilmastonmuutosten ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset Yhdysvaltojen länsirannikolla tulevat olemaan hyvin laajoja ja niillä on vaikutusta monimuotoisuuden pienenemiseen. Maastopalojen määrä on ollut voimakkaassa kasvussa länsirannikolla, ja tulevaisuudessa nämä eivät ainakaan tule helpottamaan. Lisäksi paloalueiden koko tulee laajenemaan. Myös alueet, joilla maastopaloja ei ole toistaiseksi esiintynyt, tulevat kokemaan muutoksia, sillä niillä ei ole luontaista kykyä puolustautua paloilta. Maastopalot nostavat myös alueiden lämpötilaa ja toimivat kiihdyttävinä tekijöinä muutoksille (Melillo ym. 2009: 131). Kiihtyneen lämpötilan nousun seurauksena maastopalokauden odotetaan pidentyvän. Myös maaperän ja sytykkeen kosteuden haihtuminen lisää kuivuutta ja tämän ennustetaan lisäävän paloalueiden kokoa (Halofsky ym. 2020: 3). Vuonna 2017 alueella oli jo tuhoisia maastopaloja, jotka rikkoivat ennätyksiä, mutta jo seuraavana vuonna nämä ennätykset menivät jälleen uusiksi. Tämä on kiistaton osoitus siitä, että ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt ovat voimistuneet uhkaavasti (Herring ym. 2020: 1–4).

Lämpötilan nousu aiheuttaa myös biomien leviämistä pohjoisemmaksi. Tällä on suora vaikutus siihen, että myös vieraslajit ja tuholaiset leviävät uusille alueille ja aiheuttavat tuhoja niiden kilpailijoiden puuttuessa. Myös sellaiset biodiversiteettien monimuotoisuuskeskukset, joita pitäisi suojella kaikista eniten, ovat uhattuna. Tulevaisuudessa maankäytön muutokset tulevat näkymään biodiversiteetin vähenemisenä, kun metsiä, kosteikoita ja ruohomaita tullaan raivaamaan pois maanviljelyn tieltä ruoantarpeen lisääntyessä (Lawler ym. 2014). Lämpötilan noustessa ja kuivuuden lisääntyessä ongelmaksi muodostuvat myös tulvien määrän lisääntyminen. Äärimmäisten kuivien, sekä kosteiden talvien lisääntyessä kuivan maaperän imeytymiskyky heikkenee, jolloin äärimmäisten rankkasateiden vaikutus näkyy tulvina. Lumipeitteen vähyys vuoristoissa ja sateiden tuleminen vetenä, aiheuttavat virtauksen nopeutumista etenkin talvikuukausina (Melillo ym. 2009: 132–133).

Tulevaisuuden näkymät länsirannikolle kohdistuvista muutoksista ovat huolestuttavaa luettavaa ja lämpötilan nousu sekä muut muutokset alueella ovat nopeimpia, mitä maassa tällä hetkellä tapahtuu. Etenkin lämpötilan muutokset saattavat vuosisadan loppuun mennessä tarkoittaa optimistisimmissä ennusteissa noin kahden asteen muutosta lämpimämmäksi, mutta korkean päästöennusteen mallissa lämpötila voi kohota länsirannikon etelä- ja pohjoisosissa jopa viisi astetta. Tämä vaikuttaisi myös muihin alueella tapahtuviin muutoksiin merkittävästi. Jokien virtaama on pienentynyt Coloradojoessa, ja muutokset eivät osoita tulevaisuudessa hidastumista virtaaman vähenemisen osalta. Tähän vaikuttaa myös se, että sademäärän odotetaan pienentyvän Yhdysvaltojen lounaisosissa yli 40 prosenttia kesäisin (Melillo ym. 2009: 129,135–136).

Yhdysvaltojen lounaisosissa onkin mahdollista, että lähitulevaisuudessa ilmastokonfliktien määrät lisääntyvät etenkin rajallisen vedenmäärän takia. Väestönkasvun myötä puhdasta vettä on jatkossa entistä vähemmän jokaiselle henkilölle. Veden virtaaman vähentyessä ja lämpötilan noustessa veden jokien virtaama ei riitä enää kaikille, ja konflikteja onkin jo tapahtunut Coloradojoen sekä Rio Granden varrella sijaitsevien osavaltioiden alueilla. Tulevaisuudessa veden virtaaman vähentyessä entisestään on suurempien konfliktien todennäköisyys enää ajan kysymys (ks. liitteet Kuva 4) (Melillo ym. 2009: 130–131).

Veden käytön osalta tulee tapahtumaan rajua säännöstelyä kiihtyvän vesipulan takia, joka voi johtaa jokien osittaiseen kuivumiseen ja sitä kautta konflikteihin alueiden ja jopa valtioiden välillä. Talvisateiden ennustettu lisääntyminen ei paranna tilannetta sillä suurin osa sateista tulee laajasti lumen sulamisen yhteydessä aiheuttaen tulvimista, jolloin kaikkea virtaavaa vettä ei voida hyödyntää esimerkiksi vesivoimana. (Melillo ym. 2009: 129,135–136).

Lämpimän ja kuivan ilmaston kuivattama kasvillisuus on myös erittäin herkkä syttymään, joten maastopalojen määrän ja tuhoisuuden sekä paloalueiden koon odotetaan kasvavan huomattavasti vuosisadan loppuun mennessä. Kuivuva maasto toimii siis maastopaloille erinomaisena sytykkeenä. Palojen osuus tällä hetkellä kosteilla ja sateisemmilla alueilla pohjoisessa tulee lisääntymään tulevaisuudessa, kun taas kuivilla alueilla palojen odotetaan vähenevän syttymisherkän kuivuneen kasvillisuuden vähentyessä. Myös vuoristoilla sijaitsevien metsien osuus tulee vähenemään noin 60–90 prosenttia nykyisestä, mutta ruohomaiden määrä on kasvussa. Alueiden maatalous tulee kokemaan vaikeita aikoja veden puutteen takia, sekä etenkin lämpenevän ilmaston vuoksi. Tiettyt lajikkeet tarvitsevat viileää ilmaa, jotta ne voivat kasvaa hedelmiksi asti. Tulevaisuudessa tiettyjen lajikkeiden, kuten kiivien kasvatus ei enää onnistu Yhdysvaltojen lounaisosissa. Maatalousalan tappioiden odotetaan kasvavan pahimmillaan jopa 40 prosenttia (Melillo ym. 2009: 130–131, 134).

Lämpötilan nousu aiheuttaa myös lajien luontaisten elinympäristöjen siirtymistä lajikohtaisesti sopivammille elinalueille, mutta pääosin lajit muuttavat etelästä pohjoiseen kuivuutta pakoon kosteammille alueille. Tämä vaikuttaa alueisiin merkittävästi, sillä vieraslajeilla ei ole luontaisia vihollisia ja tulokaslajit voivat aiheuttaa vahinkoa paikalliselle lajistolle. Puiden kasvun odotetaan heikkenevän pohjoisilla alueilla huomattavasti maaperän kuivuuden takia, mutta myös tuholaisvieraslajien määrän kasvu vaikuttaa puiden kasvuun negatiivisesti. Sukupuuttojen lisääntyminen on tietyillä lajeilla vakava uhka. Lisäksi eliölajit, joiden siirtyminen on hitaampaa, eivät selviydy uusista ilmasto-olosuhteista luontaisilla alueillaan yhtä hyvin kuin ennen, sillä suurin osa lajeista ei ole sopeutunut kuumiin olosuhteisiin ja maastopaloihin. Osalla lajeista ilmastonmuutoksen aiheuttama lajiston pienenemisen osuus saattaa olla jopa 80 prosenttia. Myös maankäytön osalta tulee tapahtumaan muutoksia alueen väestönkasvun kiihtyessä, jolloin luontoa täytyy raivata asutuksen tieltä pois. Myös vieraslajit muuttavat luontoa maastopalojen ohella. Biodiversiteettipesäkkeiden lajiston monimuotoisuuden odotetaan heikkenevän merkittävästi alueilla, sillä lajiston elinympäristö pienenee jatkuvasti ilmastonmuutoksen vaikutuksesta (Melillo ym. 2009: 131–132, 136–137).

Tulvien määrän odotetaan lisääntyvän kaksinkertaisesti riskialueilla, kun rankkasateiden ja äärimmäisen kuivuuden olosuhteiden lisääntymisen myötä maaperä kuivuu niin paljon, että rankkasateiden tullessa maaperä ei kykene suodattamaan sataneen veden määrää niin nopeasti kuin pitäisi. Tulvat tulevatkin aiheuttamaan tulevaisuudessa yhä enemmän taloudellista vahinkoa niin infrastruktuurille kuin ihmisille. Myös lumipeitteen pieneneminen talvisin vuoristoissa aiheuttaa sen, että vesi sekä sulanut lumipeite virtaavat nopeammin alajuoksulle. Lumipeitteen ennustetaan eri päästömallinnuksien mukaan pienenevän noin 40–90 prosenttia tietyillä alueilla. Pohjoisosissa

Yhdysvaltoja lumien sulaminen käynnistyy huomattavasti aiemmin sateiden tultua alas vetenä eikä lumena. Tämä lisää virtaaman määrää alkukeväästä, sillä lumikerros tulee olemaan 40 prosenttia pienempi ja kevättulvien ajankohta tulee olemaan noin 20–40 päivää nykyistä aiemmin.

Turismilla rahaa tuottavan yritystoiminnan odotetaan myös kärsivän etenkin vuoristoisilla alueilla suurta vahinkoa. Laskettelukeskusten voi olla tulevaisuudessa vaikeaa selviytyä taloudellisesti, mikäli laskettelukausi loppuu jopa kuukausia aiemmin lumipulan ja vesisateiden takia. Myös kesällä harrastettavat aktiviteetit ovat vaarassa näillä alueilla. Ekosysteemien tilan heikkeneminen uhkaa esimerkiksi maastopyöräilyä ja vaellusreittejä, ja jokien virtaamien pientyminen on heikentänyt vesilajien harrastusmahdollisuuksia. Monet yritykset voivat joutua sulkemaan ovensa pysyvästi ilmastonmuutoksen takia (Melillo ym. 2009: 132–133, 135).

Luoteisosissa Yhdysvaltoja ongelmaksi tulevaisuudessa muodostuu merenpinnan nousu. Esimerkiksi Seattlen kaupunki on rakennettu lähelle merenpinnan tasoa ja tämä uhkaa etenkin rannikoiden läheisyydessä olevia alueita varsinkin tulvien aikaan. Ennusteiden mukaan merenpinnan nousua saattaa tapahtua vuosisadan loppuun mennessä noin 127 senttiä. Keskimääräiset arviot ennustavat kuitenkin noin 30 senttimetrin nousua. Merenpinnan nousu ja sateiden lisääntyminen lisäävät myös rannikoilla tapahtuvaa eroosiota ja tämä on uhkana rakennetuille alueille, jotka sijaitsevat epävakailta rinteillä. Näissä maanvyöryjen uhka on suurin (Melillo ym. 2009: 137–138).

Keskilänsi

Keskilänsi alueena on iso osa koko Yhdysvalloista, joten siihen liittyviä ilmiöitä on myös hyvin paljon. Keskilänsen alueelle on tyypillistä suuret lämpötilavaihtelut vuodenaikojen välillä, sillä meren läheisyys ei ole vaikuttamassa alueen ilmastollisiin oloihin. Kuumat, kosteat kesät ja kylmät talvet ovat arkea tällä alueella. Kuitenkin viimeisten vuosikymmenien aikana on havahduttu muutoksiin lämpötiloissa, sillä etenkin talven lämpötilat korkeampia kuin aikaisemmin. Myös kesälämpötilat ovat tavanomaista suurempia ja sademäärät ovat olleet jo noin 30 vuoden ajan tavanomaista korkeammat ja sademäärien kasvu on luonnollisesti nostanut alueella ilmaantuvien tulvien määrää huomattavasti yleisemmäksi. Ennätyksellisten myrskyjen odotetaan yleistyvän, mikä tulee lisäämään edellä mainittuja ongelmia. Myös jääpeitteen määrän väheneminen, sekä talven keston lyheneminen noin viikolla, ovat seurausta ilmaston lämpenemisestä (Melillo, ym. 2009: 118–121).

Tornadot ovat hyvin yleinen ilmiö keskilännen ja suurten tasankojen alueella. Havainnoitaessa tornadoita voidaan huomata, että voimakkaiden tornadoiden määrä ei ole kasvanut ilmastonmuutoksen vaikutuksesta, mutta suurin muutos on tapahtunut sellaisten pienien tornadoiden määrässä, joiden kirjaaminen ylös on haastavaa. Huolimatta siitä, että suoraa näyttöä tornadoiden voimistumisesta ilmastonmuutoksen seurauksena ei ollut, oli huomattava, että tornadoita syntyy tasaisesti enemmän nykypäivänä. Tilastoissa voi olla jonkin verran heittoa, sillä kaikkia tornadoita ei esimerkiksi pystytä havaitsemaan niiden lyhyen keston takia (Schlie 2017: 63, 77–78). Harold Brooks (2013) tutkimuksessa tornadoiden muutokset olivat kuitenkin hieman erilaisia. Tulevaisuudessa tornadoiden määrällistä kasvua ei odoteta, vaan päinvastoin. Tutkimuksessa oli kuitenkin runsaasti muuttujia, mikä esti täysin varman päättelyn tornadoiden määrän muutoksista.

Jääpeitteen vähenemisen määrä, sekä lämpötilan nouseminen aiheuttavat suurempaa haihduntaa alueen järvissä, mikä on aiheuttanut useiden järvien vedenpinnantason laskua, ja tulevaisuudessa vedenpinnan lasku tulisi voimistumaan entisestään. Haihdunnan voimistuminen ja alueella yleistyvien sateettomien aikojen jaksot ovat nostaneet kuivuusjaksojen todennäköisyyttä, ja tällä on vaikutuksia suoraan alueen jokien virtaamaan heikentävästi. Järvien vedenpinnan muutoksilla tulisi olemaan merkittäviä vaikutuksia alueilla eläviin ihmisiin ja koko alueen toimivuuteen eri sektoreilla (Melillo ym. 2009: 117–120).

Kesäisin lämpötilan nousu on aiheuttanut alueelle lisääntyneitä lämpöaaltoja. Tulevaisuudessa niiden odotetaan olevan entistä pitkäkestoisempia ja kuumempia, mikä aiheuttaa rasitetta etenkin terveydenhuollolle lasten ja iäkkäiden vanhusten osalta. Pitkien lämpöaaltojen aikana ja etenkin niiden lisääntyessä sähkön tarve kasvaa huomattavasti. Kun asukasluku kasvaa ja sitä kautta ilmastointilaitteiden määrä nousee, on selvää, että sähkönkulutus tulee lisääntymään. Tämä voi pitkään jatkuessaan aiheuttaa sähkönjakelun ongelmia tietyillä alueilla, joten taloudelliset haitat paikallisille asukkaille kasvavat tulevaisuudessa. Ilmastonmuutoksella on myös ilman laatuun negatiivisia vaikutuksia. Esimerkiksi alailmakehän otsonin määrä on kasvussa ja tämä voi aiheuttaa riskiryhmiin kuuluville ihmisille mahdollisesti jopa vakavia hengitystieongelmia (Melillo ym. 2009: 118,121).

Hyönteiset ja punkit sopeutuvat elämään hyvinkin vaikeissa olosuhteissa, mutta muutokset lämpimämpään suuntaan ilmastossa takaavat niille paremmat mahdollisuudet selvitä talvesta, ja lämpimät kesät ovat suuri syy siihen, miksi nämä populaatiot ovat kasvaneet viime vuosina. Myös erilaiset veden kautta leviävät taudit yleistyvät, kun saastuttavat bakteerit sekoittuvat viemäriverkostojen tulviessa juomaveteen. Maanviljelylle alueen muutokset tulevat olemaan pääosin negatiivisia, mutta myös positiivisia. Lämpötilan noustessa kasvukauden kesto pidentyy ja

maataloutta voidaan harjoittaa entistä pohjoisempana, mutta tätä tulee varjostamaan ongelmat etenkin tulvien lisääntyessä sekä tuholaisien aiheuttaessa negatiivisia vaikutuksia sadoille. Tiettyt alueet tulevat muuttumaan myös viljelykelvottomiksi. Karjan kasvattamisesta tulee myös kalliimpaa lämpötilan noustessa sillä karjaeläinten tuottavuus heikkenee lämpimällä ilmalla, ja veden saatavuusongelmat tulevat lisääntymään tulevaisuudessa (Melillo ym. 2009: 121–122; Walthall ym. 2013: 34, 107).

Muu paikallinen eläin- ja kasvilajisto tulee muuttumaan yllä mainittujen syiden takia. Vesistöjen lajit, kuten kalat tulevat kokemaan eniten muutoksia huonompaan suuntaan niiden elinympäristön kaventuessa vesien lämpenemisen takia. Maalla elävien lajien kilpailun odotetaan kasvavan vieraslajien lisääntyessä alueella (Melillo ym. 2009: 121–122).

Suurien tasankojen pohjoisosien alueella, Kalliovuorten itäpuolella, ilmaston odotetaan muuttuvan hieman erilaisempaan suuntaan, kuin mitä voisi odottaa ja tästä on havaittu jo muutoksia. Suurin osa yllä mainituista keskilämmen muutoksista tulevat toteutumaan myös suurten tasankojen alueella. Aiemmin alueella vallinneet kuivat olosuhteet ovat muuttuneet kosteammiksi ja sateet ovat lisääntyneet runsaasti. Etelässä ilmaston odotetaan lämpenevän, mitä voidaan pitää suurena huolenaiheena alueella sijaitsevien pohjavesivarastojen hupenemisen vuoksi. Väestömäärän kasvaessa, ja veden suodattumisen vähentyessä, pohjaveden taso on laskenut tasaisesti alaspäin ja nykyinen pohjavesien käyttö ei ole enää kestävää tulevaisuuden kannalta (Melillo ym. 2009: 123–124).

Yhdysvaltojen keskilännessä ja tasangoilla tulee tapahtumaan monia muutoksia. Lämpötilan nousu on niistä selkein. Hellepäivien määrä sekä hellejaksot lisääntyvät, ja alueen ilmasto tulee muistuttamaan Teksasin pohjoisosia. Korkean päästöennusteen mukaan hellepäivien sekä -jaksojen määrä tulee kaksinkertaistumaan vuosisadan loppuun mennessä. Myös lämpösaarekeilmion voimistumista tapahtuu suurkaupungeissa, vaikuttaen kaupunkien keskilämpötilan nousuun. Lämpötila nousee keskimäärin noin kolme astetta, mutta myös 6–7 asteen keskilämpötilan nousut paikallisesti ovat mahdollisia. Otsonin määrän ennustetaan lisääntyvän alailmakehässä lämpötilan nousun, sekä ilmansaasteiden lisääntyessä. Tämä lisää tulevaisuudessa hengitystieongelmien määrää (Melillo ym. 2009: 117–120, 123).

Myös sähköntarve nousee lämpöaaltojen yleistyessä, kun ilmastointilaitteet kuluttavat suuren osan sähköntarpeesta kesäisin. Tämä altistaa suurkaupunkeja sähkökatkoksille ja muille sähköpulan aiheuttamille tapahtumille. Myös talvilämpötilat nousevat usealla asteella, mikä näkyy jäävapaan ajan pidentymisenä vesistöissä. Liikenneturvallisuuden odotetaan parantuvan, kun lumen ja jään aika ja

määrä lyhenee (Melillo ym. 2009: 117–120, 123). Jääpeitteiden määrä järvissä on pienentynyt jo yli 20 prosenttia 30 vuoden aikana ja tulevaisuudessa jään määrä vähenee entisestään (Doney ym. 2011: 427). Sadannan lisääntyminen vuosisadan loppuun mennessä etenkin talvella ja keväällä, nostaa nykyisellä kehitysvauhdilla ennätysellisten rankkasateiden määrää kolminkertaisesti ja lisää tulvien esiintymistä. Esimerkiksi Nebraskan alueella sadannan odotetaan lisääntyvän yli 40 prosenttia nykyisestä, kun taas New Meksikon alueella sadanta voi vähentyä noin 40 prosenttia (Melillo, ym. 2009: 117–120, 123).

Järvet kokevat rajuja muutoksia vuosisadan loppuun mennessä. Jääpeitteen vähentyminen ei ole ainoa ongelma, sillä suurta muutosta tulee aiheuttamaan järvien vedenpinnan laskeminen lisääntyneen haihdunnan ja kuivuuden vuoksi. Tämä voi tarkoittaa reilua puolen metrin laskua järvien vedenpinnassa vuosisadan loppuun mennessä. Lisäksi joet kokevat myös suurempaa kuivumista, mikä vaikuttaa rahtilaivojen lastin määrään vähentämistarpeeseen. Vedenpinnan lasku vaikuttaa myös rantojen, sekä satamien sijainnin muutoksiin. Vesien saastumisen uhka on myös suurempi pienenevillä vesistöalueilla. Kuivuudella on seurauksia pohjavesistöihin, sillä näiden puhtaan veden varastojen pieneneminen on alkanut ja osa pohjavesivarastoista uhkaa kuivua kokonaan. Mikäli pohjaveden kulutus pysyy samankaltaisena, pudotus on kuivimmilla alueilla jopa useita kymmeniä metrejä. Jokaisella luonnonkatastrofilla on myös taloudelliset vaikutuksensa ja nykyisellä kehitysvauhdilla luonnonkatastrofien aiheuttamat vahingot yrityksille ja yksityishenkilöille tulevat kasvamaan vuosisadan loppuun mennessä (Melillo ym. 2009: 117–121, 124).

Hyönteisten ja tuholaisten aiheuttamien sairauksien määrän odotetaan kasvavan seuraavien vuosikymmenien aikana, kun talvien lämpenemisen seurauksena tuholaiset selviävät hengissä kevääseen. Tämä aiheuttaa haasteita maanviljelylle lämpötilan nousemisen ohella. Suuremmassa mittakaavassa maanviljelylle sopivat alueet tulevat siirtymään pohjoiseen satoja kilometrejä, ja eteläisessä osassa Yhdysvaltoja maatalous kärsii vaikeutuvista olosuhteista. Esimerkiksi kaakkoisosissa Yhdysvaltoja kasvillisuus tulee vuosisadan lopussa muistuttamaan keskilännen nykyistä kasvillisuutta. Myös muu lajisto ja biodiversiteetti muuttuu seuraavien vuosikymmenten aikana lisääntyneiden uhkien, kuten vieraslajien määrän kasvun, vaikutuksesta. Sopeutuminen muutokseen on avainasemassa maatalouden tulevaisuuden kannalta (Melillo ym. 2009: 117–122, 126).

Itärannikko

Itärannikko Yhdysvalloissa on ilmastoltaan sekä maantieteelliseltä vaihtelultaan hyvin monipuolinen, ja olosuhteet voivat vaihdella alueella helteisistä keleistä aina sankkoihin lumisateisiin. Ensimmäisenä käsittelen vaihteluita pohjoisella osalla itärannikkoa, jonka jälkeen kerron eteläisen osan vaihteluista. Tyypillisimpänä havaittuna muutoksena jokaisella alueella on tasainen lämpötilan nousu. Lämpötilan on havaittu nousevan eniten talvella, jolloin muutos on hieman kesää suurempi. Tämä johtaa pohjoisilla alueilla talven keston merkittävään lyhenemiseen ja sademäärien kasvuun. Myös lumisten päivien odotetaan puolittuvan tulevaisuudessa, mutta havaintoja on tehty jo tälläkin hetkellä, kun sateet tulevat talvella lumen sijasta vetenä. Kylmyyden aiheuttamien kuolemien ennakoitaankin vähenevän tulevaisuudessa. Vesisateiden runsastuminen ja lämpötilan nousu aiheuttavat lumien sulamista, mikä johtaa kevättulvien yleistymiseen tavanomaista aiemmin. Alueiden järvien ja jokien jääkerroksen on havaittu pienenevän huomattavasti ja pahimpina vuosina jääkerrosta ei välttämättä muodostu lainkaan alueen vesistöihin. Talviurheilulajit, jotka tuottavat valtiolle reilut 7 miljardia dollaria tuloja vuosittain, ovat myös kärsivät myös ilmastomuutoksesta. Hädässä ovat etenkin laskettelubisnes ja muu talviurheilu, jotka tuottavat noin 3,5 miljardia dollaria vuosittain. Myös jäällä harrastettavat lajit, kuten pilkkiminen, luistelu ja kelkkailu kokevat taloudellisia tappioita lyhyempien talvien takia (Melillo ym. 2009: 107,110,113).

Hellepäivien tavanomaisuus kasvaa huomattavasti tulevaisuudessa. Jo nyt hellelukemien on havaittu yleistyvän, sekä äärimmäisen helteen päiviä esiintyvän tavanomaista useammin. Lämpötilan nousun kiihtymisen vuoksi vuodenaikojen vaihtelu on muuttunut, kun kesän korkeimmat lämpötilat esiintyvät muutamaa viikkoa aiemmin ja jatkuvat myöhemmälle syksyyn asti. Kaikkien näiden muutosten seurauksena tietyillä alueella esiintyviä, jopa muutamia kuukausia kestäviä kuivuusjaksoja on havaittu useammin. Energian kulutuksen kasvu lisääntyy kasvavan ilmastointilaitteiden kysynnän takia, ja kuivuus ja lämpötilan nousu ovat yksi suurimmista ilmansaasteiden vaikutusta kaupunkialueilla lisäävistä tekijöistä (Melillo, ym. 2009: 107–108,110).

Yllä mainitut lämpötilan muutokset parantavat alueiden viljelyolosuhteita tekemällä kasvukaudesta entistä pidemmän, mutta toisaalta ilmansaasteet tasoittavat tilannetta. Lisäksi alkuperäisesti alueella kasvatettavien tuotteiden kyky sopeutua ympäristöön ei ole riittävän tehokas ja nopea. Sen seurauksena esimerkiksi vaahteransiirapin tuotanto tulee kokemaan suuria tappioita, samoin kuin meijerituotteiden tarjonta (Melillo, ym. 2009: 107–108,110).

Merissä ja vesistöissä tapahtuvat muutokset ovat selkeästi havaittavissa ja niiden voimistuminen on iso uhka tulevaisuudessa. Merien lämpötilan nousu uhkaa pohjoisen alueen jäätiköitä ja niiden sulaminen kiihdyttää merien pinnannousua. Tämä tuo erittäin suuren uhkan rannikoilla sijaitseville kaupungeille, jotka ovat vaarassa etenkin isojen myrskyjen aikana myrskyaaltojen ja rannikoilla esiintyvien tulvien takia. Rahallisten vahinkojen määrän kasvun odotetaan kiihtyvän tulevaisuudessa entisestään. Etelässä vesistöjen happipitoisuus laskee tulevaisuudessa aiheuttaen runsaasti kalakuolemia (Melillo ym. 2009: 107,109,113).

Myös eteläisemmässä osassa itärannikkoa muutoksia on tapahtunut, mutta ne ovat luonteeltaan hieman erilaisia verrattuna pohjoisosissa tapahtuviin muutoksiin. Muutaman asteen lämpötilannousun lisäksi syyssateiden määrän on havaittu nousevan tavanomaista yleisemmiksi sekä runsaammiksi ja ilmiö on voimistumassa jatkossa. Myös pakkaspäivien määrä on ollut pienenevään päin. Vastaavasti keväällä, sekä myös muina vuodenaikoina on havaittu sademäärien vähenemistä, joten sateet ovat vuosien saatossa jakautuneet entistä epätasaisemmin ja ne tulevat yhä useammin rankkasateina alas. Myös hurrikaanien lisääntyminen ja voimistuminen pitää sademäärät tasaisina. Hurrikaanien tuhovoima on lisääntynyt voimakkaasti merien lämpenemisen takia ja aaltovahingot ovat kasvaneet tuulivahinkojen ohella. Etenkin rannikoilla sijaitsevat saaristot ja myrskytuhoilta suojaavat alueet ovat kokeneet kovia, ja menettäneet pinta-alaa. Tämän seurauksena niiden ainutlaatuiset ekosysteemit ovat osittain hävinneet (Melillo ym. 2009: 111–112, 114–115).

Vesistöjen ja ilman lämpötilan nousulla on myös muita haittoja. Ihmiset, eläimet ja ympäristö tulevat kärsimään näistä muutoksista. Lämpöaallot aiheuttavat nykyään enemmän kuolemia kuin koskaan aiemmin. Myös alueella harjoitettava maatalous tulee kärsimään ja metsien kasvu heikkenee, ja kulkuväylät tulevat kokemaan vaurioita. Esimerkiksi rautatiekiskot saattavat vääntyä ja asfaltti sulaa liiasta kuumuudesta. Ylipäätään alueiden infrastruktuuri tulee kärsimään kokonaisuutena voimistuvista muutoksista. Myös vedenlähteiden määrän odotetaan vähenevän muuttuvan ilmaston vaikutuksesta. Kuivuusjaksojen myötä veden suodattuminen pohjavedeksi vähenee ja maastopalojen odotetaan lisääntyvän myös itärannikolla. Liiallinen pohjaveden pumppaaminen altistaa pienenevät pohjavesivarastot myrskyissä suolavedelle, jolloin lähteet voivat saastua ja muuttua käyttökelvottomiksi (Melillo ym. 2009: 113,115).

Itärannikon tulevaisuuden näkymät lämpötilan nousun osalta eivät ole niin rajuja kuin muualla Yhdysvalloissa. Lämpötilan nousun ennustetaan olevan seuraavien vuosikymmenien aikana talvella enintään kaksi astetta ja kesällä reilu puolitoista astetta, mutta vuosisadan loppuun mennessä ennusteet voivat vaihdella hyvinkin paljon. Kaakkoisosissa lämpötilan nousun ennustetaan olevan 2–5 astetta. Myös yli 32 asteen lämpötilojen odotetaan yleistyvän, ja esimerkiksi Bostonissa tällaisia

päiviä on tällä hetkellä vuodessa noin 15, mutta vuosisadan lopussa lukumäärä voi olla jopa 30–65 päivää. Yli 37 asteen lämpötilojen odotetaan myös yleistyvän nykyisestä viidestä päivästä noin 6–24 päivään. Lämpöaaltojen odotetaan lisääntyvän merkittävästi ja mikä tulee vaikuttamaan elämän laatuun samalla, kun ilmansaasteet lisääntyvät (Melillo ym. 2009: 107–108, 111).

Sademäärien sekä yksittäisten rankkasateiden odotetaan runsastuvan huomattavasti jo seuraavien vuosikymmenien aikana, sekä vuosisadan loppuun mennessä. Etenkin talvella sateiden odotetaan tulevan yhä useammin vetenä. Tämä aiheuttaa tulvien yleistymistä ja lumipeitteen merkittävää vähenemistä. Kerran vuosisadassa ilmenevien äärimmäisten tulvien yleistyminen tulee tapahtumaan vähintään 2–10 kertaa useammin, riippuen siitä, miten ilmastonmuutosta torjutaan. Talvisen jääpeitteen väheneminen nopeutuu tulevaisuudessa ja lämpötilannousun odotetaan vaikuttavan jääpeitteen pientymiseen ja meriveden pinnan nousemiseen. Vedenpinnan tason odotetaan nousevan jopa 60 senttiä tai enemmän. Kaakkoisosissa Yhdysvaltoja sademäärien muutokset ovat hyvin vuodenaikakohtaisia. Keväällä ja kesällä sademäärät pienenevät, kun taas syksyllä ja talvella tilanne on päinvastainen. Hurrikaanien määrä ja voimakkuus ovat lisääntyneet historian aikana. Tuulen nopeuden ja sademäärien, sekä tuhojen kustannusten arvioidaan nousevan, mutta tarkkaa kustannusarviota tästä on vaikeaa tehdä useiden eri muuttujien takia. Myrskyjen voimakkuuden noustessa aineellisen vahinkojen määrän odotetaan kasvavan, sillä asuinrakennuksia ei ole suunniteltu kestämaan voimistuvia tuulia ja myrskyaaltoja. Pohjaveden saatavuudessa on ollut ongelmia kuivumisen sekä sademäärän vähentymisen takia. Väestönkasvun lisääntyminen kasvattaa vähenevien pohjavesivarojen käyttöä ja liikkakäyttö altistaa pohjavesistöjä saastumiselle (Melillo ym. 2009: 107–109, 112–114).

Marcianon ym. (2015) tutkimuksessa käy kuitenkin ilmi, että itärannikolla tapahtuvien trooppisten syklonien määrän odotetaan hieman vähenevän, mutta voimakkuudeltaan ne tulevat olemaan tuhoisampia. Toisaalta tutkimuksessa ei oteta huomioon trooppisia sykloneja pienempien myrskyjen voimistumista, mikä tasaisi määrää.

Ilmaston lämpenemisellä on joitakin positiivisia seurauksia, kuten kasvukauden pidentyminen lämpötilan nousun seurauksena. Tästä aiheutuvat haitat kuitenkin neutralisoivat positiivisia vaikutuksia, sillä monet lajikkeet kuten omenat, mustikat ja karpalot eivät kasvaisi enää alueen lämpenevässä ilmastossa ollenkaan. Suurimman kolauksen kokisi meijeribisnes. Tuottavuus, joka on tällä hetkellä noin 3,2 miljardia dollaria kokisi 10–20 prosentin pudotuksen tuotoissa. Ennuste ei ole täysin varma, mutta se on suuntaa antava ja todennäköisesti aliarvioi ennustuksia. Etelässä lämpötilan nouseminen yhä olisi vielä tuhoisampaa ja sillä olisi vaikutuksia niin maa- ja karjataloudelle, kuin metsien kasvullekin. Talviurheilu kokisi lumipeitteen vähentymisen seurauksena suuria tappioita.

Tappioita on mahdotonta ennustaa, mutta tekolumen tuottaminen ja kauden keskenjääminen kasvattaisivat kustannuksia niin suuriksi, että konkurssseja tapahtuisi väistämättä (Melillo ym. 2009: 107–110, 112–113).

Alaska

Alaska sijaitsee erillään muusta osasta Yhdysvaltoja Kanadan rajanaapurina luoteisosissa Pohjois-Amerikkaa. Mitä pohjoisemmaksi maapallolla mennään, sitä voimakkaammin ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt tulevat vaikuttamaan. Esimerkiksi lämpötilan nousu on ollut voimakkainta Alaskassa verrattuna muihin osiin Yhdysvalloissa. Meriveden lämpötila on ollut nousussa, mikä vaikuttaa tulevaisuudessa myrskyjen määrän ja voimakkuuden kasvuun pohjoisilla alueilla. Lämpötilan nousulla on vaikutuksia etenkin alueen talveen, sillä erityisesti pohjoisessa korostuu lumien aikainen sulaminen keväällä, sekä jäätön kausi Alaskassa (Melillo ym. 2009: 139–140,143). Jäiden sulaminen on ollut huomattavaa, ja 80-luvulta 2010-luvulle mentäessä merijään paksuus oli laskenut keskimäärin 1,3–2,3 metriä. Etenkin talvella ja syksyllä ilmenevä lämpeneminen on ollut voimakkaassa kasvussa (Wuebbles ym. 2017: 305).

Ongelmaksi on muodostunut lisääntynyt eroosion ja tulviminen erityisesti rannikoilla. Ilmastomallit ennustavat Alaskaan tulevaisuudessa runsaammin sateita, mutta lämpimämmän ilman seurauksena haihtuminen on suurempaa, mikä on muodostanut alueen kuivumisen ongelmaksi, huolimatta siitä, että sademäärät ovat lisääntyneet. Kuivuus on myös lisännyt metsäpaloja alueella. Ainoa osittainen hyöty Alaskan lämpenemisestä liittyy turismiin, sillä vaellusreitit ja luontokohteet pysyvät ylläpitokunnossa pidempään lämpötilan nousun ansiosta (Melillo ym. 2009: 139–140,143).

Myös ikiroudan sulaminen on suuri ongelma etenkin alueilla, joilla ikiroudan lämpötila on juuri pakkasen puolella. Alaska on rakennettu ikiroutaisen alueen päälle ja mikäli se sulaa, ovat muutokset maaperässä niin suuria, että infrastruktuuri, kuten tiet ja kiitoradat, tulevat kärsimään vaurioita. Tämä aiheuttaa insinööreille haasteita siinä, kuinka estää maan vajoaminen. Myös maanalaiset putkistot, sekä yksityisomistuksessa olevat asuintalot kärsivät vaurioita ikiroudan sulamisesta. Metsät ovat jatkuvassa muutoksessa, sillä puut vääntyilevät ja kaatuvat pehmeämmässä maastossa entistä helpommin. Metsissä ja puissa on tapahtunut muitakin muutoksia ilmaston lämpenemisen seurauksena. Nouseva lämpötila kasvattaa maastopalojen riskiä, mutta yleisen kuivuuden seurauksena puiden puolustusmekanismit tuholaisia vastaan ovat heikentyneet huomattavasti ja tuholaisten määrä onkin kasvanut kiihtyvällä vauhdilla, lisäten samalla puiden paloherkkyyttä niiden kuollessa ja lahotessa (Melillo ym. 2009: 139–142).

Alaskassa on paljon järviä, jotka ovat täysin suljettuja, eli niissä ei tapahdu virtausta mereen, eivätkä joet myöskään tuo vettä järviin, sillä ne saavat vetensä sateiden mukana. Suuremman haihdunnan vuoksi alue on kuivempi kuin ennen ja järvien pinta on laskenut huomattavasti. Tulevaisuudessa järvien kuivuminen onkin suuri uhka. Tällä on suuria vaikutuksia alueiden ympäristöön niin ihmisten kannalta, kuin biodiversiteetinkin näkökulmasta. Järvien ympäristö kosteikkoineen on tarjonnut miljoonille eliöille vakaan elinympäristön, ja niiden pienetessä myös ihmisten elinkeinot ovat uhan alla kalastuksen ja metsästyksen vaarantuessa alueella tapahtuvien muutosten takia. Alaskan rannikoilla sijaitsevat suurimmat kaupallisen kalastuksen alueet. Merialueiden lämmetessä paikalliset ekosysteemit kärsivät, ja tämä vaikuttaa negatiivisesti planktonin määrään, mikä vaikuttaa suoraan alueiden kalakantoihin ja eliöiden ympäristöön (Melillo ym. 2009: 141–142).

Alaskassa on rannikkopinta-alaa enemmän kuin koko Yhdysvalloissa, mikä altistaa Alaskan rannikkoa eroosiolle. Rannat, jotka ovat jo valmiiksi matalia korkeuseroiltaan, ovat ison riskin kohteena. Myös merijään väheneminen, mikä on suojannut myrskyaalloilta, altistaa rantoja nykyisin useammin tuhoisille aalloille, ja ikiroudan sulaminen voimistaa aallokon eroosiovaikutusta. Aallot kaivertavat maaperää ja seurauksena yllä oleva maa-aines romahtaa. Maaperä pehmenee myös jatkuvan ikiroudan sulamisen seurauksena, joten mitä pehmeämpää maa-aines on, sitä helpommin se erodoituu (Wuebbles ym. 2017: 314). Eroosiovaikutus näkyy Alaskassa rantojen erodoitumisena aaltojen vaikutuksesta useiden metrien verran vuodessa. Tämä aiheuttaa rannikon asutukselle ongelmia muutamien vuosien päästä (Melillo ym. 2009: 141–143).

Alaskassa lämpötilan nousu on voimakkainta koko maassa ja ennusteiden mukaan lämpötila kohoaa vuosisadan loppuun mennessä vähintään kahdella asteella, mutta mahdollista on, että lämpötila nousee jopa seitsemän astetta alueellisesti. Tällä olisi suuria vaikutuksia koko alueen olosuhteisiin. Esimerkiksi lumen ja jään sulaminen tapahtuisi huomattavasti aiemmin. Fairbanksissa jäätömän kauden pituus on lyhentynyt 100 vuoden aikana noin 40 päivällä. Vuosisadan loppuun mennessä lämpenemisvauhti tulee todennäköisesti kiihtymään entisestään. Myös merivesi lämpenee jäätömän kauden pidentyessä. Ikiroudan lämpötila on noussut noin puolelatoista asteella 30 vuoden ajanjaksolla, joten on todennäköistä, että lämpeneminen jatkuu vähintään yhtä voimakkaana myös tulevaisuudessa. Sulaminen lisäisi infrastruktuurin kuluja 10–12 prosenttia nykyisiin ylläpitokustannuksiin verrattuna, tarkoittaen miljardien lisäkuluja (Melillo ym. 2009: 139–142).

Ilmastomallit ennustavat Alaskan alueelle lisääntyneitä sateita, ja vastapainona, lämpenemisen seurauksena, haihdunnan määrä on myös suurempaa aiheuttaen alueelle useammin kuivuutta. Kuivuuden lisääntyessä etenkin maastopalojen määrän odotetaan lisääntyvän Alaskan alueella kesäisin. Vuosisadan loppuun mennessä Alaskan maastopalojen alueen koon odotetaan kasvavan

arviolta noin 25–53 prosenttia (Wuebbles ym. 2017: 310). Haihtumisella on myös vaikutuksia alueen suljettuihin järviin. Näiden pinta-ala on pienentynyt dramaattisesti haihdunnan ja ikeiroudan sulamisen vaikutuksesta ja on mahdollista, että järvet kuivuvat tulevaisuudessa osittain tai kokonaan pois. Alueen biodiversiteetti onkin kokenut, ja tulee kokemaan, muutoksia elinolojen muuttuessa järvien alueella. Sään ääri-ilmiöt tulevat siis lisääntymään jatkossa, kun alueella tapahtuvien myrskyjen määrä lisääntyy (Melillo ym. 2009: 139–141).

Saaret ja saaristot

Saariin ja saaristoihin kuuluvat Tyynenmeren saaret sekä Karibian saaret, mutta yhteensä saaria on noin 30 000 Tyynenmeren alueella. Ne ovat irrallaan muusta osasta Yhdysvaltoja ja siksi ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt vaikuttavat niihin eri tavalla kuin valtion manner osiin. Alueella on vaihteleva ympäristö, ja saaren geologia on olennainen tekijä tutkittaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Saaren korkeus merenpinnasta on yksi tärkeimmistä ja olennaisimmista kysymyksistä merenpinnan jatkuvan kohoamisen vuoksi. Korallien sekä puhtaan juomaveden määrä alueella vaikuttavat ihmisten elinkeinoihin ja elinolosuhteisiin. Karibian alueella on 40 saarta, jotka tarjoavat kymmenille miljoonille ihmisille kodin muuttuvassa ympäristössä. Alueiden suurimpana ongelmana on ollut voimakas väestönkasvu, mikä vaikuttaa etenkin herkkiin rannikoiden alueisiin, ja tämä heijastuu alueiden tärkeimpiin elinkeinoihin, eli turismiin ja kalastukseen. Mikäli alueiden rannikot tuhoutuvat, ovat vahingot korvaamattomia. Yllä mainitut muutokset sekä seuraavissa kappaleissa ilmi käyvät tekijät ovat heikentäneet turismin ja kalastuksen tuottamia tuloja (Melillo ym. 2009: 145).

Mitä pienempi saari on kyseessä, sitä haavoittuvaisempi se on ilmastonmuutokselle ja etenkin sään ääri-ilmiöille. Sään pidempiaikaiset muutokset ja merenpinnan nousu ovat jatkuvia uhkia, jotka aiheuttavat sukupuuttoja elinympäristön jouduttua veden valtaamaksi. Tulvat tulevat yleistymään ja myrskyaallot huuhtovat rantoja kokonaan pois. Saarien pinta-ala ja elintila käyvät myös pienemmiksi merenpinnan nousun myötä, mutta rannikoiden muutokset ja etenkin eroosio, sekä korallien tuhoutuminen vaikuttavat muihinkin asioihin, jotka pitävät alueen haavoittuvaista ekosysteemiä kasassa. Merien happamoituminen, sekä juomaveden saastuminen ovat yllä mainittujen tekijöiden lisäksi vakavia uhkia alueen saarille. Juomaveden määrä onkin hyvin rajoittunutta, sillä sitä pitäisi riittää maatalouden, terveydenhuollon, turismin sekä ekosysteemien tarpeisiin. Puhdasta vettä joudutaan tuottamaan myös vaihtoehtoisilla tavoilla, kuten sadeveden keräämisellä, sillä pohjavettä ei ole riittävästi kaikille. Liialliset tulvat heikentävät juomaveden laatua sekä altistavat puhtaan veden lähteet saasteille, kuten viemäriveresille. Myös maatalouden satojen laatu on kärsinyt tulvien

seurauksena. Paikoittain puhtaasta vedestä onkin pulaa, eikä tilanne ole helpottamassa tulevaisuudessa lainkaan, veden laatua heikentävien ilmiöiden yleistyessä (Melillo ym. 2009: 145–147).

Perinteisistä ilmastonmuutokseen liittyvistä ongelmista saarien alueella on mitattu yhä korkeampia lämpötilakeskiarvoja. Myös sademäärän muutoksia on havaittu, sillä Karibian alueella on ollut entistä vähemmän sateita. Sen sijaan Tyynenmeren saarilla sateiden määrä ja voimakkuus ovat kasvaneet merkittävästi. Hurrikaanien, sekä rajujen myrskytuulien lisääntyminen uhkaavat etenkin merenpinnan tasolla olevia alueita sekä Tyynellämerellä, että Karibian saaristoissa. Infrastruktuurin laajamittaiset tuhot ovat kasvamassa vuosi vuodelta ja ihmishenkiä menetetään voimistuneiden myrskyjen takia yhä enemmän. Myös infrastruktuurin laajamittaiset ja pitkäaikaiset tuhot ovat kasvaneet, kun vedenpinnan nouseminen ja hurrikaanit sulkevat yhteiskuntaa useiksi päiviksi ja vaikuttavat yhteiskunnan toimivuuteen jopa vuosien ajan (Melillo ym. 2009: 146–148).

Lämpenevä ilmasto on joka puolella maailmaa ongelmana, mutta saarien alueella lämpötilan nousu on huomattavasti pienempää kuin Yhdysvaltojen sisämaassa. Muutosten odotetaan olevan vuosisadan lopussa noin 1,5–3 asteen välillä. Tähän syynä on myös se, että meren läheisyys tasaa lämpötilaeroja. Myös merien lämpötilat ovat olleet tasaisesti nousussa. Sademäärässä on tapahtunut vaihtelua, sillä tulevaisuuden mallit ennustavat Karibian alueelle noin 5–20 prosenttia nykyistä vähemmän sadetta, mutta Tyynellämerellä sateiden ja etenkin rankkasateiden määrä on lisääntymään päin (Melillo ym. 2009: 145). Lumisateiden ja pysyvän lumen ennustetaan katoavan vuoristoalueilta Havaijilla kokonaan vuosisadan loppuun mennessä lämpenevän ilmaston seurauksena (Zhang ym. 2017).

Alueen vaihteleva ympäristö aiheuttaa sen, että alueilla on monia erilaisia ilmastoon vaikuttavia muuttujia. Näiden muuttujien yhteisvaikutukset aiheuttavat sen, että alueen elinolot eivät ole tulevaisuuden kannalta kovinkaan vakaat. Esimerkiksi väestönkasvu aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta alueen ympäristölle, etenkin juomavesivarastoille. Saaret ovat myös hyvin haavoittuvaisia alueella tapahtuville sään ääri-ilmiöille, joiden määrä on nousussa. Hurrikaanien aiheuttamien myrskyaaltojen vaikutusta pidetään suurimpana uhkana saarten ollessa usein hyvin matalia. Merenpinnan nousu uhkaa rannikoita saarialueilla ja tulevaisuudessa osa rannikoiden maa-alueesta tullaan menettämään pysyvästi merenpinnan nousun takia. Äärimmäisiä tulvia on aiemmin ollut Havaijin saarilla noin 20 vuoden välein, mutta nykyään niitä esiintyy noin viiden vuoden välein. Merenpinnan nousu uhkaa myös alueiden tärkeitä infrastruktuurisia kohteita, kuten ihmisten asuntoja, tieverkostoja ja lentokenttää. Näiden sijainti lähellä nousevaa merta aiheuttaa tulevaisuudessa pakollisia infrastruktuurin muutoksia (Melillo ym. 2009: 145–148).

Saarten ekosysteemejä kohtaan on lukuisia uhkia, niiden ollessa riippuvaisia useista tekijöistä, kuten merenpinnan noususta, meriveden lämpenemisestä, myrskyjen voimistumisesta, rannikoiden tulvimisesta, sään ääri-ilmiöistä, rannikoiden eroosiosta, merien happamoitumisesta, koralliriuttojen vähenemisestä ja vieraslajien lisääntymisestä sekä ekosysteemien vuorovaikutuksesta keskenään. Pienetkin muutokset yllä olevissa tekijöissä voivat aiheuttaa ekosysteemien vuorovaikutuksessa isoja muutoksia. Turismi on tärkeä elinkeino talouden kannalta, tuoden alueelle varoja vuosittain useita miljardeja dollareita ja lähes miljoona työpaikkaa. Nykyisen ilmastomuutoksen kehitysvauhdin pysyessä samana, tuhansien työpaikkojen olemassaolo on vaakalaudalla, ja turismin tulojen odotetaan laskevan, sillä alueen turismi perustuu suurelta osin luontomatkailuun. Myös kalastusbisneksen odotetaan kokevan tappioita koralliriuttojen vähentyessä ja liikakalastuksen lisääntyessä. Iso osa alueen kalalajeista käyttää elinympäristönään koralliriuttoja (Melillo ym. 2009: 148).

Taulukko 1. Sään ääri-ilmiöiden ja ilmastomuutoksen merkittävimmät vaikutukset alueittain

ALUE	SÄÄN ÄÄRI-ILMIÖIDEN JA ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET	
LÄNSIRANNIKKO	Lämpötilan nousu Maastopalojen lisääntyminen Merenpinnan nousu Vesipula Jokien virtaaman väheneminen Maanvyöryriski kasvaa	Sateisuuden muutokset Kevättulvat Vieraslajien lisääntyminen Sukupuuttojen lisääntyminen Biodiversiteetin heikentyminen Turismin heikentyminen
SUURET TASANGOT JA KESKILÄNSI	Lämpötilan nousu (lämpöaallot) Rankkasateiden lisääntyminen (tulvat) Talven keston lyhentyminen Jääpeitteen pienentyminen Viljelyn ja karjan kasvatusta vaikeutuu Tuholaisten leviäminen alueella	Pohjaveden nopea väheneminen Vesistöjen vedenpinnan lasku Sähköntarpeen lisääntyminen Otsonin aiheuttamat ilmansaasteet Kuivuuden lisääntyminen Biodiversiteetin muutokset
ITÄRANNIKKO	Lämpötilan nousu (etenkin talvella) Sademäärien lisääntyminen (syksyisin) Lumen ja jäiden vähentyminen Merilämpötilojen nousu Tulvien yleistymisen Hurrikaanien voimistuminen	Kuivuuden lisääntyminen (keväisin) Ekosysteemien muutokset Kasvukauden pidentyminen (pohj.) Ilmansaasteiden määrän kasvu Terveystekijöiden lisääntyminen Maatalouden tuotanto pienenee
ALASKA	Lämpötilan nousu (voimakkainta) Lumen ja jäätiköiden sulaminen Ikiroudan sulaminen Sateisuuden lisääntyminen Järvien pinta-alan pieneneminen Rannikoiden eroosion voimakas kasvu	Tuholaisten määrän kasvu Metsäpalojen lisääntyminen Meriekosysteemien heikkeneminen Laivaliikenteen reittimuutokset Haiddunnin lisääntyminen Talven lyheneminen
SAARIALUEET	Lämpötilan nousu Meriveden lämpötilan nousu Merenpinnan nousu Sadannan lisääntyminen Havaijilla Sadannan vähentyminen Karibialla Hurrikaanituulten lisääntyminen	Rantaekosysteemien tuhoutuminen Rannikoiden eroosio lisääntyy Turismin heikentyminen Koralliriuttojen tuhoutuminen Kalastuksen elinkeinon heikentyminen Lumialueiden häviäminen vuoristoista

Esimerkitapauksia Yhdysvalloista

Länsirannikko, maastopalot 2018 ja (2020)

Vuonna 2018 havaittiin toistaiseksi tuhoisimmat maastopalot Kalifornian alueella niin kuolonuhrien määrässä, kuin tuhoutuneiden rakennuksien osaltakin. 95 ihmistä sai surmansa kyseisissä maastopaloissa ja noin 22 000 rakennusta paloi maan tasalle, kun yli 600 000 hehtaaria metsää ja muuta aluetta tuhoutui palojen seurauksena. Maastopalot eivät tapahtuneet yhtä aikaa, vaan useammissa ryppäissä, joista tuhoisin oli 85 uhria vaatinut Butte Countyn alueella tapahtunut palo Sierra Nevadassa. Kuolettavan palosta teki se, että pelkästään tämän palon aikana tuhoutui 19 000 asuinrakennusta. Eniten maa-aluetta yksittäisessä palossa tuhoutui Mendocino Complexin tulipalossa, jossa peräti 186 000 hehtaaria aluetta altistui tulelle heinä-elokuun aikana. The Carr firen aikana tapahtui myös harvinainen luonnonilmiö, Kalifornian alueen palojen yhteydessä havaittiin toistaiseksi mittaushistorian voimakkain tulitornado fujitan asteikolla mitattuna, tuulten puhaltaessa jopa 73 metriä sekunnissa (Herring ym. 2020: 1).

Yleensä sään ääri-ilmiöiden syntyyn tarvitaan poikkeukselliset olosuhteet. Ilmasto mahdollistaa tulipalot ja sääolosuhteet kontrolloivat niitä. Vuoden 2018 maastopaloissa ilmasto-olosuhteet olivat suotuisat palojen syttymiselle, sillä lämpötilat olivat korkeita ja tulta ruokkivat palamisen elementit osuivat kohdalleen alueella, jossa sijaitsi paljon asutusta sekä herkästi palavaa luontoa (Herring ym. 2020: 1).

Vuoden 2018 tulipalojen olosuhteet alkoivat muovautua jo 2016/17 talvella, jolloin oli tavallista sateisempaa kuin yleensä. Tämä mahdollisti sytykkeen eli ruohikon kasvun jo toista vuotta peräkkäin tavallista runsaammaksi keväällä ja kesällä. Ruohikon ollessa suurimmillaan, oli 2017/18 talvi poikkeuksellisen kuiva, mikä kuivatti ruohoa. Kun keväällä 2018 sateet olivat taas runsaita, syntyi alueelle ennätysmäärä ruohomaita. Kesä 2018 oli ennätyksellisen kuiva ja lämmin, ruohikot kuivuivat tavallista enemmän ja ei tarvittu kuin pieni kipinä, joka sytytti lopulta maastopalot. Tulipaloja syttyi lopulta sekä ihmisten aiheuttamana, että salamoinnin seurauksena, ja tuulten voimakkuus ruokki tulipaloja entisestään (Herring ym. 2020: 1–3).

Vuonna 2020 ja parhaillaan tälläkin hetkellä Yhdysvalloissa riehuvat maastopalot ovat rikkoneet ennätysjä jatkuvasti. Paloissa on toistaiseksi kuollut kymmeniä ihmisiä, mutta paloalueen laajuus on ollut ennennäkemättömän suuri, sillä 31. päivä syyskuuta paloissa oli toistaiseksi tuhoutunut jo 2.5 miljoonaa hehtaaria maa-aluetta. Tästä alasta 1.5 miljoonaa hehtaaria on palanut Kalifornian

osavaltiossa, mikä vastaa peräti 3,7 prosenttia koko Kalifornian osavaltion pinta-alasta. Paloissa aiheutuneiden kuolemien lisäksi savusumuun kuolleiden lukumäärän arvioidaan olevan tuhansia ihmisiä, ja savusumu on levinnyt myös ympäri maapalloa. Palojen syttymissyynä on havaittu yhä useammin olevan luonnollisten tekijöiden sijasta ihmisten toiminta. Ilmakehän poikkeuksellinen kuivuus on ollut myös syytke massiivisille maastopaloille. Tutkijoiden ennustukset ovat käymässä toteen, sillä ilmaston lämpenemisen seurauksena palaneiden alueiden koko tulee laajenemaan vuosi vuodelta yhä suuremmiksi. Myös ihmisten vaikutus tulipalojen syttymisessä korostuu, sillä jopa 95 prosenttia tulipaloista, jotka uhkaavat asutuksia ja kehittyviä alueita, ovat suoraa tai epäsuoraa seurausta ihmisten toiminnasta alueella (Higuera & Abatzoglou 2020).

Nykyisellä ilmastonmuutoksen kiihtymisvauhdilla maastopaloennätykset tulevat todennäköisesti rikkoutumaan vuosittain. Rajummat maastopalot aiheuttavat ekosysteemien muutoksia ja lisäävät entisestään ilmastonmuutosta, ja ihmisten on sopeuduttava rajuihin muutoksiin alueilla. Lisäksi tulevia vuosia varten on kiinnitettävä erityistä huomiota maankäytön suunnitteluun ja kehittämiseen vastaavien tapahtumien varalta, sillä maastopalojen määrä sekä tuhoisuus kasvavat tulevina vuosina (Higuera & Abatzoglou 2020).

[Keskilänsi ja Suuret tasangot, kuivuusjakso 2017](#)

Kuivuusjaksot ovat yleistynyt ilmiö ympäri Yhdysvaltoja, mutta vuonna 2017 suurten tasankojen alueella Montanassa ja Dakotassa mitattiin ennätyksellisiä kuivuusjaksoja. Toukokuusta heinäkuuhun alueelle satoi vettä vain 60 prosenttia normaalista sadannasta, ja tämä olikin tilastollisesti toiseksi kuivin jakso koko alueen historiassa. Ilmiötä voimisti vielä tavanomaista korkeampi lämpötila kyseisellä ajanjaksolla. Kuivuusjaksolla oli rajuja seurauksia alueen ympäristölle ja ihmisten omaisuudelle, sillä maanviljelijät kokivat miljardien tappioita satojen tuhouduttua ja karjan tuottamattomuuden lisääntyttyä, mikä johti tuotantoeläinten myymiseen kuivuuden seurauksena. Alueella syttyi myös tavallista enemmän metsäpaloja kuivuusjakson ja poikkeuksellisen lämpimän ilman seurauksena. Myös vedenlähteiden ehtyminen aiheutti isoa uhkaa infrastruktuurille. Tutkimuksessa mitattiin myös maaperän kosteutta ja vertailtiin sitä aiempiin vuosiin, ja tuloksissa havaittiin, että maaperän kosteus oli pienimmillään sitten vuoden 1979. Kuivuuden syynä on esitetty sademäärän vähentymistä (Herring ym. 2019: 19,21, 25).

Suurten tasankojen kuivuudelle sekä sateiden vähäisyydelle on esitetty kahta teoriaa. Ensimmäinen oli seurausta tropiikin olosuhteissa tapahtuneesta meriveden lämpenemisestä. Tutkimuksen simulaatiot esittävät myös samaa asiaa, sillä pieni meriveden pinnan lämpeneminen aiheuttaa suurten

tasankojen alueella lämpimämpiä olosuhteita. Toisena syynä poikkeuksellisiin olosuhteisiin on todettu olevan korkea poikkeama troposfäärin yläosassa. Nämä muutokset estivät normaalin konvektiovirtauksen muodostumista ja vähensivät pilvien muodostumista. Tämän seurauksena tavallista enemmän auringonsäteilyä pääsi maahan asti. Kun planetaariset tuuletkaan eivät tuoneet kosteita ilmamassoja sateineen, muuttuneiden ilmavirtojen seurauksena alueen kuivuus lisääntyi. Sateiden väheneminen on myös seurausta maaperän kuivumisesta, mikä oli ennätysmäistä vuonna 2017. Vuoden 2017 tapahtumissa on siis ollut osasyynä se, että ilman lämpeneminen on seurausta merenpinnan pitkäaikaisesta lämpenemisestä, ja sateiden väheneminen on johtunut ilmakehän troposfäärissä tapahtuneista muutoksista (Herring ym. 2019: 25–29).

Tulevaisuudessa samankaltaisten tapahtumien osuus on tutkimusten perusteella lisääntymässä, sillä simulaatiot osoittavat, että kuivuusjaksojen todennäköisyys toukokuun ja heinäkuun välisenä ajanjaksona on puolitoista kertainen ilmastonmuutoksen voimistumisen ja sadannan kustannuksella tapahtuvan haihdunnan lisääntymisen takia. Suurin yksittäinen syy kuivuudelle kyseisinä vuosina oli sadannan vähäisyys. Mallinnukset ennustavatkin tapauksien lisääntyvän tulevaisuudessa (Herring ym. 2019: 23–24).

Itärannikko, trooppinen hirmumyrsky Sandy 2012

Lokakuun 29–30 päivä trooppinen hirmumyrsky Sandy syntyi ja kehittyi peräti 1600 kilometriä leveäksi hirmumyrskyksi, ja vyöryi Atlantin rannikolle poikkeuksellisen pohjoisessa ja suorassa kulmassa rannikkoon nähden, aiheuttaen massiivisia tuhoja suurissa kaupungeissa kuten New Yorkissa, New Jerseyssä ja Pennsylvanian alueella. Myös monet muut alueet kärsivät mittavia vahinkoja myrskyn tuhoten yhteensä satojatuhansia koteja ja katkaisten sähköt miljoonilta ihmisiltä jopa viikoiksi. Tuhojen yhteenlaskettu suuruus oli noin 50 miljardia dollaria, ja Yhdysvaltojen hallitus lahjoitti myrskyn jälkeisten tuhojen korjaamiseen peräti 60 miljardia dollaria. Myös 147 ihmistä sai surmansa Sandy myrskyssä, joista 72 Yhdysvaltojen alueella (Blake ym. 2013: 14–15, 120; Lackmann 2015: 1–2). Myrskystä erityisen tuhoisan teki se, että näin pohjoisessa osassa Yhdysvaltoja ei odoteta tämän kokoluokan hirmumyrskyjä. Alueella on varauduttu moniin muihin vaaroihin, mutta ei tähän. Hirmumyrskystä aiheutui mittavat tuulituhot muun muassa rakennusten saatua vahinkoa ja puiden kaatuessa, sekä muun irtotavaran hajottaessa paikkoja. Lisäksi Sandy myrsky nostatti laajat, metrien korkuiset tulva-aallot, rannikolla (Peterson ym. 2013: 17).

Sandyn kulkureitti oli erittäin poikkeuksellinen, sen liikkua normaali tavalla rannikon suuntaisesti, mutta pohjoisemmaksi kuin koskaan ennen. Sen rantautumisreitti oli myös täysin kohtisuoraan rannikkoa kohden, mikä on hyvin epätyypillistä pohjoisessa. Myrskyn epänormaaliin liikkumiseen vaikutti sen törmääminen pohjoisen kylmiin sääsystemeihin. Tämä teki myrskystä myös hyvin ennalta arvaamattoman. Myrskyn jälkeen nousi paljon huolestuneita kysymyksiä siitä, onko ilmastonmuutoksella vaikutusta myrskyn epätyypilliseen kulkureittiin ja voimakkuuteen. Toinen tärkeä kysymys oli se, kuinka Sandyn kaltainen myrsky olisi käyttäytynyt esimerkiksi historiassa, ja vastaavasti, miten se käyttäytyisi tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen voimistuessa. (Lackmann 2015: 1–2)

Sandy oli tyypillinen loppuvuoden hurrikaani, joka kehittyi Karibian merellä. Se oli voimakkaimmillaan jopa kolmoskategorian hurrikaani, mutta Atlantin itärannikolle osuessaan se oli laantunut ykköstason hurrikaaniksi. Poikkeuksellisen siitä teki se, että Sandyn koko kasvoi huolimatta siitä, että myrsky laantui pohjoiseen mennessään. Edetessään Bahaman ja Kuuban ohi se ehti laantua trooppiseksi myrskyksi, mutta liikkua koilliseen rannikkoa pitkin se voimistui ykkösluokan hurrikaaniksi. Kylmät ilmamassat saavuttaessaan, myrsky teki jyrkän käännöksen kohti rannikkoa, voimistui hieman ja osui rannikolle. Tämän jälkeen myrsky heikkeni hyvin nopeasti myrskyn rippeiden levitessä kohti Kanadaa ja Ohion aluetta. Myrskytuulten huippunopeudeksi mitattiin lopulta noin 51 m/s, vähintään minuutin ajan mitattuna, ja rannikolle iskeytyessään tuulen nopeus oli vielä 36 m/s ja alin paine oli 940hPa. Sandy nostatti erittäin suuria tulvia rannikoilla ja New Jerseyssä tulva aallot nousivat peräti 2,7 metriin, osin tuulten puhaltamien aaltojen takia. Myös vettä satoi New Yorkin läheisyydessä runsaasti, enimmillään 32,5 senttimetrin verran koko myrskyn aikana. Lisäksi pohjoisessa saatiin runsaita lumisateita myrskyn rippeistä. (Blake ym. 2013: 1–4, 13, 128,150–151).

Sandy myrsky oli hyvin poikkeuksellinen, aiheuttaen massiivisia tuhoja itärannikolla asuville ihmisille, mutta todennäköisyysmallinuksien mukaan Sandyn ei olisi edes pitänyt iskeytyä Yhdysvaltojen rannikolle, etenkin niin pohjoiseen (Blake ym. 2013: 157). Sandystä ei siis voida yksinomaan syyttää ilmastonmuutosta, vaan useiden tapahtumaketjujen sarjaa. Merivesien lämpötilat ovat kuitenkin jatkuvasti nousussa, joten tulevaisuudessa samankaltaiset myrskyt jopa pohjoisemmassa ovat ennusteiden ja mallinuksien mukaan todennäköisempiä. Sandy saattoi olla siis alkusysäys tuleville vastaavanlaisille myrskyille (Lackmann 2015: 54–57). Tästä voidaan päätellä, että ilmastomallit ja ennusteet pitävät yleensä paikkansa, mutta eivät ole täysin luotettavia kaikesta datasta huolimatta. Sandyn kaltaista myrskyä ne eivät pystyneet ennustamaan, mutta pidemmän aikavälin tapahtumien ennustamiseen ilmastomallit sopivat paremmin (Knutti: 2008).

Alaska, meren lämpöaalto 2016

Alaskan lahdella sekä Beringin merellä on merivesi ollut yleisesti aina kylmää, mutta viimeisten vuosien aikana, ja etenkin vuonna 2016, meren lämpötilan nousun poikkeama oli niin suuri, ettei sellaista ollut ennen havaittu. Lämpötila oli keskimäärin lähes kaksi astetta tavallista korkeampi merialueilla ja etenkin merien pintavesissä Alaskan rannikolla. Tämä aiheutti ketjureaktiona esimerkiksi jäiden ennätysaikaista sulamista keväällä ja Alaskan rannikoilla mitattiin tavallista korkeampia ilman lämpötiloja. Meren poikkeuksellinen lämpötilannousu havaittiin ensimmäisen kerran tammikuussa 2014, jolloin merivesi oli tavallista lämpimämpää noin 100 metrin syvyyteen asti, mutta jo loppuvuodesta lämpökerros ulottui 300 metrin syvyyteen. Myös useat mittausasemat havaitsivat lähes ennätyksellisen korkeita lämpötiloja niin Beringin meren pintavesissä, kuin Alaskan lahdellakin (Herring ym. 2018: 39–41).

Osasyynä tähän on aikaisemmissa tutkimuksissa pidetty ilmakehän kiertokulun poikkeamia, jotka ovat olleet käynnistämässä ketjureaktiota, jossa Alaskan rannikon vesistöt lämpenevät. Myös tavallista korkeampi ilmanpaine on vähentänyt hukkalämmön karkaamista takaisin ilmakehään, sekä kylmän advektion voimakkuutta. Ilmakehän kiertokulun poikkeamista on syytetty merien pintavesien lämpenemistä. Myös ”Aleutian low” eli Alaskan rannikolla, Aleuuttien saarten alueella sijaitseva matalapaine, joka oli vielä poikkeuksellisen syvä, aiheutti alueiden merivesien lämpenemistä. Aleuuttien syvä matalapaine esiintyy usein El Nino ilmiön aikana, ja ilmiö alkoi voimistumaan juuri alkuvuonna 2016 (Herring ym. 2018: 39).

Pitkäaikaisella lämpenemisellä oli suuria, negatiivisia vaikutuksia alueiden ekosysteemeille. Osa muutoksista oli alkanut jo ennen vuotta 2016, mutta tämä kiihdytti tapahtumia entisestään. Tiettyjä planktonlajeja ja leväkukintoja lämpeneminen hyödytti, mutta esimerkiksi äyriäisillä havaittiin myrkytystapauksia, ja osterifarmit eivät menestyneet hyvin lämpiminä vuosina. Lisäksi tiettyjä äyriäisiä oli tavallista enemmän, joten niitä päätyi paljon kalanruoaksi, mutta ne eivät olleet läheskään niin hyvää ravintoa kuin kalojen normaali ruoka. Näkyvimpiä muutoksia lajiston puolella oli kymmenien tuhansien etelänkiislojen kuoleminen nälkään lämpenemisen seurauksena. Tämä oli seurausta alueen ruokaverkon huomattavista muutoksista. Lisäksi monet meritähdet sairastuivat näivetytystautiin, mitä ei ennen ollut havaittu. Jäiden vähäisyys esti tai myöhästytti myös eri lajien pyyntiä eri puolilla Alaskaa. Kalastus, ravustus, sekä hylkeiden- ja valaiden pyynti kärsivät jäiden vähydestä huomattavasti. Ylipäätään havaintoja meriveden lämpenemisen aiheuttamista erilaisista muutoksista kirjattiin muutaman vuoden aikana yli 100 kappaletta (Herring ym. 2018: 39–41).

Alaskan meriveden lämpenemiseen vaikutti muutama ratkaiseva tekijä, jotka aiheuttivat suuren ketjureaktion. Tavallista voimakkaampi El Nino ilmiö sekä ilmakehän poikkeava kierto takasivat sen, että Alaskan lahdella sekä Beringin merellä havaittiin korkeita meren lämpötiloja. Muutokset eivät olleet suoraan ilmastonmuutoksen syytä, mutta tulevaisuudessa ilmastonmuutos tulee voimistamaan kyseisiä ilmiöitä, mistä seuraa vastaavanlaisia ongelmia, ja nykyisistä äärilämpötiloista tulee normaaleja. Data osoittaaakin, että ihmisten aiheuttama ilmastonmuutos lisää tulevaisuudessa riskiä vastaavanlaisille poikkeusilmiöille (Herring ym. 2018: 39, 41–42).

Saarialueet, tulvat 2003

2000-luvulla merenpinnan nousu on ollut voimakasta, ja sillä on ollut suuria vaikutuksia rannikoilla sekä matalilla saarilla asuville yhteisöille. Havaiji ei ole joutumassa kokonaan veden alle sen suurten pinnanmuotojen vaihtelun takia, mutta alueella on havaittu vedenpinnan nousua vuosien saatossa. Esimerkkitapaus poikkeaa paljon muista, sillä tällä ei ollut dramaattisia seurauksia ympäristölle eikä alueiden asukkaille. Vedenpinnan nousu uhkaa kuitenkin huomattavaa osaa ihmisistä, etenkin Havaijin luoteisosien saarilla, ja tulevaisuudessa sillä on vaikutuksia alueen elinympäristöihin, kun rannikot jäävät veden alle eroosion vaikutuksesta. Tällä on vaikutuksia etenkin rannikoiden ekosysteemeihin, jotka eivät siedä nopeita muutoksia ja tuhoutuvat (Melillo ym. 2009: 146–147).

Vuonna 2003 Honolulun sataman vedenmittauspisteellä mitattiin silloinen suurin päiväkohtainen keskiarvo vedenpinnan korkeudelle. Tämä oli noin 23 senttimetriä keskiarvoa korkeampi. Se oli monen tekijän summa, ja johtui esimerkiksi pitkäaikaisesta vedenpinnannoususta. Tämä on vähiten näkyvä muutos, mutta silti kaikkein vakavin, ja sillä onkin peruuttamattomia seurauksia tulevaisuudessa. Tällä hetkellä vedenpinta nousee Havaijilla noin puolitoista senttiä vuosikymmenessä, mikä tarkoittaa noin 15 senttiä sadassa vuodessa. Toisena tekijänä alueella esiintyvä vuorovesi-ilmiö nosti vedenpintaa noin 10–20 senttimetriä tavallista korkeammalle. Kolmantena tekijänä merenpinnan nousuun vaikutti meriveden lämpölaajeneminen, mikä nostatti myös hieman meren pintaa. Myös valtamerten vuodenaikaiset liikkeet ovat vaikuttaneet tähän noin neljän senttimetrin verran (Firing & Merrifield 2004; Melillo ym. 2009: 147).

Tutkimukset osoittavat, että vaikka yllä mainitut syyt olivat vahvasti osana vaikuttamassa ennätyselliseen meriveden korkeuteen, oli suurin yksittäinen tekijä kuitenkin antisykloni eli sulkukorkeapaine, mikä tarkoittaa paikallaan olevaa pitkäaikaista korkeapainetta. Antisykloni

aiheuttaa aaltoilua ja merenpinnan lämpölaajenemista, millä on ollut oleellinen osa merenpinnan nousussa poikkeuksellisen korkealle, noin 12 sentin verran (Firing & Merrifield 2004).

Tämän kaltaiset tapahtumat ovat olleet harvinaisia ja vastaavia tapahtumia on esiintynyt noin 20 vuoden välein, mutta ilmastonmuutoksen voimistuessa on kyseisten tapahtumien tiheys ollut kasvavaan suuntaan, ja nykyään samankaltaisia tapahtumia voi olla jopa viiden vuoden välein (Melillo ym. 2009: 147). Jo vuonna 2017 Havaijilla mitattiin uudelleen vedenkorkeuden ennätyslukemat, jolloin suurimpana syynä oli voimakas El Nino ilmiö (Long ym. 2020). Myös vedenkorkeuden nousun odotetaan tulevaisuudessa kiihtyvän entisestään, ja matalien alueiden ja rantojen pelätään joutuvan täysin veden alle (Melillo ym. 2009: 147–148).

Pohdinta

On selvää, että ilmastonmuutoksella sekä sään ääri-ilmiöillä tulee olemaan merkittävää vaikutusta Yhdysvaltojen, sekä muun maailman tulevaisuuteen. Suurin ongelma ilmastonmuutoksen torjunnassa on ihminen itse. Vaikka tiedostamme ongelmat ja tiedämme mitä ratkaisuja muutoksen eteen täytyisi tehdä, niin emme silti tee niin. Semenzan ym. (2008) Yhdysvaltojen alueella toteuttamassa tutkimuksessa käy hyvin ilmi, että lähes kaikki tiedostavat ilmastonmuutoksen ongelmat, mutta alle puolet ovat valmiita tekemään konkreettisia muutoksia elämässään ilmastonmuutoksen hidastamista ja pysäyttämistä varten. Syitä tähän on useita. Yleisin syy oli tietämättömyys siitä, kuinka voisi itse vaikuttaa ilmastonmuutoksen hidastamiseen. Muita syitä oli esimerkiksi ajan ja rahan puute sekä yhden ihmisen muutoksen merkityksettömyys. Lisäksi Glanzin ym. (2010: 10) mukaan on tyypillistä, että muutokseen kiinnitetään huomiota vasta, kun ongelmat osuvat omalle kohdalle. Joten tulevaisuudessa, vuosisadan loppuun mennessä on hyvin todennäköistä, että ilmaston lämpenemisen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset toteutuvat todennäköisesti paljon rajumpana kuin nykypäivänä, mikäli asenteet ja konkreettiset toimenpiteet eivät muutu. Ja vaikka jokainen ihminen tekisi välittömästi muutoksia, ei sekään välttämättä riittäisi estämään kaikkia muutoksia tapahtumasta. Ja kuten McGrightin ym. (2016) tutkimuksessa todetaankin, on Yhdysvallat suuri poikkeus ilmastonmuutoksen välinpitämättömyydessä ja kielteisyydessä verrattuna muihin länsimaihin. Yleisesti ilmastonmuutokseen uskotaan paljon vähemmän eikä riskejä oteta vakavasti.

Samalla kun on puhuttu ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden tulevaisuudesta, on hyvä puhua myös niiden ennusteista ja ilmastomalleista. Ovatko ilmastomallit luotettavia, ja jos eivät ole, niin

miksi? Ilmastomuutoksesta on tehty ennusteita jo kymmeniä vuosia. Ei ole olemassa yksiselitteistä mallia, mikä kertoisi absoluuttisen totuuden tulevasta, sillä kyseessä ovat vain ennusteet. Reto Knuttin (2008) sanojen mukaan on kuitenkin hyvä miettiä, että ”miksi meidän täytyisi uskoa ennusteita ilmastomuutoksesta seuraavalle vuosisadalle asti, jos emme kuitenkaan pysty ennustamaan säätä kolmea päivää pidemmälle.” Myöhemmin hän kuitenkin toteaa, että epävarmuus ei voi olla syynä viivästyttää ilmastomuutosta vastaan käytettäviä toimia, sillä tutkijoilla on kuitenkin riittävästi perusteita ilmastomuutoksesta.

Ihmisten jatkuva fossiilisten polttoaineiden käyttö ja ihmisten muuttumattomuus ovat riittävän vakuuttava todiste siitä, että ilmastomuutos tulee kiihtymään jatkossa. Ilmastomalleissa on kuitenkin epävarmuuksia, sillä ennustemallit pohjautuvat aina menneeseen aikaan. Lisäksi ne ovat aina hieman yksinkertaistettuja malleja, koska jokaista muuttujaa on mahdotonta ottaa huomioon ilmastomalleissa. Mikään malli ei siis ole täydellinen tutkittaessa todellista maailmaa, mutta toisaalta täydellistä mallia ei tarvita. Monesti nykypäivänä eri ilmastomalleja yhdistellään keskenään, jotta voidaan tutkia tiettyjä kysymyksiä entistä tarkemmin. Lisäksi riittää, että tiedämme mihin suuntaan ilmastomuutos on menossa, ja tällä hetkellä lähes kaikki tutkijat ovat yhtä mieltä siitä, että kehityssuunta on hyvin huolestuttava lämpenemisen kannalta. Ei ole väliä lämpeneekö ilmasto 1–5 astetta seuraavien sadan vuoden aikana, sillä yksikin aste on liikaa, ja sen eteen on tehtävä maailmanlaajuisesti töitä, jotta päästäisiin tavoitteisiin ilmastomuutoksen hidastamiseksi ja lopulta pysäyttämiseksi. Ja vaikka meillä hypoteettisesti olisikin täydellinen malli, niin muuttuisiko meidän käyttäytymisemme siitäkään huolimatta (Knutti: 2008)? Toistaiseksi suurta muutosta ihmisten käyttäytymisessä ilmastomuutoksen hyväksi ei ole näkynyt, mutta tärkeintä olisi ymmärtää, että jokaisen ihmisen pienilläkin teoilla on merkitystä, jos kaikki tekevät yhteistyötä. Toisaalta Collinsin tutkimuksessa (2013: 12) todetaan, että tulevan ilmastomuutoksen ennustaminen ei ole kuin sääennustuksen tekemistä, vaan muuttujia on niin paljon, että on mahdotonta tehdä luotettavia pitkäaikaisia ennusteita. Nämä tulokset ovatkin vain suuntaa antavia.

Mielenkiintoista oli myös tutkia tornadoiden nykytilaa ja tulevaisuutta. Useassa artikkelissa tulokset erosivat hieman toisistaan ja yhtä loogista kaavaa ei muodostunut. Oletankin tietojen eroavaisuuden johtuvan tornadojen monimutkaisesta syntymekanismista, jota ei edelleenkään pystytä mallintamaan täydellisesti. Tämän takia myös tornadojen yhdistäminen sään ääri-ilmiöiden tulevaisuuden ennustuksiin on vaikeaa.

Ilmastokonfliktit ovat melko tuore käsite nyky-yhteiskunnassa, vaikka niiden määrä onkin ollut nousevaan suuntaan, mutta onko niiden todennäköisyys kuinka korkea? Tällä hetkellä Yhdysvalloissa on alueita, joissa ilmastokonfliktin todennäköisyys lähivuosina on hyvin korkea. Suurimmat syyt

ilmastokonfliktille olisivat tällä hetkellä todennäköisimmin vesipulaan liittyvät ongelmat. Etenkin Yhdysvaltojen lounaisosien alueella ilmastokonfliktit ovat todennäköisesti vasta alussa. Suurimpia syitä vedenlähteiden aiheuttamiin ilmastokonflikteihin on vesivarojen ehtyminen juomavetenä ja vesivoiman käytössä (Melillo ym. 2009: 42,102). Seuraavaksi todennäköisin ilmastokonflikti liittyyne ilmastopakolaisuuden aiheuttamiin ongelmiin. Kun alueelle muuttaa alhaisen tulotason ihmisiä, on tällä yhteyttä konfliktien määrän lisääntymiseen.

Yhteenvetona tässä tutkimuksessa voidaan todeta, että tulevaisuus Yhdysvalloissa sään ääri-ilmiöiden ja ilmastomuutoksen osalta, on vuosisadan lopussa suurella todennäköisyydellä melko erilainen verrattuna nykypäivään, mikäli erittäin radikaaleja muutoksia ei tehdä välittömästi. Voimme siis luottaa ilmastomallien ennustuksiin tulevaisuudesta huolimatta siitä, että mikään ennustus ei ole täysin 100 prosentin varma, sillä ilmastomalleja yhdistelemällä ennustukset ovat riittävän tarkkoja kertomaan, että muutoksia on tapahduttava. Myös konfliktien määrä tulee väistämättä lisääntymään Yhdysvaltojen alueella. Eniten konflikteja tulee aiheuttamaan puhtaan veden riittävyys kaikille sitä tarvitseville. Muutoksia lienee tulossa, jos Joe Bidenistä julistetaan presidentti ja Yhdysvallat liittyy takaisin Pariisin ilmastopöytäkirjaan, mutta jokaisen ihmisen henkilökohtaista panosta tarvitaan kuitenkin yhä taistelussa ilmastomuutosta vastaan.

Lähdeluettelo

- Blake, E. S., T. B. Kimberlain, R. J. Berg, J. P. Cangialosi, & J. L. Beven (2013). Tropical cyclone report hurricane sandy. *Tropical Cyclone Report Hurricane Sandy (AL182012) 22–29 October 2012*. National Hurricane Center,
- Brander, N., S. Hiekka, C. Ruth & O. Ruth. (2012). Sininen planeetta. Manner -Lukion maantiede. 2. p. 147 s. Otava, Helsinki.
- Brooks, H. E. (2013). Severe thunderstorms and climate change. *Atmospheric Research*, 123, 129-138.
- Chang, H. & M. R. Bonnette (2016). Climate change and water-related ecosystem services: Impacts of drought in california, USA. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(12), e01254.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, . . . G. Krinner (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. *Climate change 2013-the physical science basis: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1029-1136) Cambridge University Press.
- Firing, Y. L., & M. A. Merrifield (2004). Extreme sea level events at hawaii: Influence of mesoscale eddies. *Geophysical Research Letters*, 31(24)
- Glantz, M. H., & Q. Ye (2010). *Usable thoughts: Climate, water and weather in the twenty-first century*. Tokyo, Japan: United Nations University Press. Retrieved from <http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=>
- Global warming and extreme weather: The science, the forecast, and the impacts on America. (2010). Environment America. <<https://environmentamerica.org/reports/ame/global-warming-and-extreme-weather-science-forecast-and-impacts-america>>. 5.10.2020.
- Halofsky, J. E., D. L. Peterson, & B. J. Harvey (2020). Changing wildfire, changing forests: The effects of climate change on fire regimes and vegetation in the pacific northwest, USA. *Fire Ecology*, 16(1), 4.

- Herring, S. C., N. Christidis, A. Hoell, M. P. Hoerling, & P.A. Stott (2019). Explaining extreme events of 2017 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(1), S1-117.
doi:<https://doi.org/10.1175/BAMS-ExplainingExtremeEvents2017.1>
- Herring, S. C., N. Christidis, A. Hoell, M. P. Hoerling, & P. A. Stott (2020). Explaining extreme events of 2018 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), S1-S140.
- Herring, S. C., N. Christidis, A. Hoell, J. P. Kossin, C. J. Schreck III, & P. A. Stott (2018). Explaining extreme events of 2016 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(1), S1-S157.
- Higuera, P. E., & J. T. Abatzoglou (2020). Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western united states. *Global Change Biology*,
- Introduction to world regional geography. (2019). Pressbooks. <
<https://worldgeography.pressbooks.com/chapter/4-1/>>. 1.12.2020.
- Karttunen, H., J. Koistinen, E. Saltikoff, & O. Manner (2008). *Ilmakehä, sää ja ilmasto*. Helsingissä: Ursa. Retrieved from <https://oulu.finna.fi/Record/oy.9910047243906252>
- Knutti, R. (2008). Hotter or not? should we believe model predictions of future climate change? *Significance*, 5(4), 159-162.
- Lackmann, G. M. (2015). Hurricane sandy before 1900 and after 2100. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(4), 547-560.
- Lawler, J. J., D. J. Lewis, E. Nelson, A. J. Plantinga, S. Polasky, J. C. Withey, . . . V. C. Radeloff (2014). Projected land-use change impacts on ecosystem services in the united states. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(20), 7492-7497.
- Long, X., M. J. Widlansky, F. Schloesser, P. R. Thompson, H. Annamalai, M. A. Merrifield, & H. Yoon (2020). Higher sea levels at hawaii caused by strong el niño and weak trade winds. *Journal of Climate*, 33(8), 3037-3059.

- Marciano, C. G., G. M. Lackmann, & W. A. Robinson (2015). Changes in US east coast cyclone dynamics with climate change. *Journal of Climate*, 28(2), 468-484.
- McCright, A. M., S. T. Marquart-Pyatt, R. L. Shwom, S. R. Brechin, & S. Allen (2016). Ideology, capitalism, and climate: Explaining public views about climate change in the united states. *Energy Research & Social Science*, 21, 180-189.
- Melillo, J. M., T. T. Richmond, & G. Yohe (2014). Climate change impacts in the united states. *Third National Climate Assessment*, 52
- Peterson, T. C., M. P. Hoerling, P. A. Stott, & S. C. Herring (2013). Explaining extreme events of 2012 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(9), S1-S74.
- Pryor, S. C., D. Scavia, C. Downer, M. Gaden, L. Iverson, R. Nordstrom, . . . G. P. Robertson (2014). Midwest. climate change impacts in the united states: The third national climate assessment. *In: Melillo, JM; Richmond, TC; Yohe, GW, Eds. National Climate Assessment Report. Washington, DC: US Global Change Research Program: 418-440., , 418-440.*
- Saukkonen, L. (2020). *Sään ääri-ilmiöt ja ilmastomuutos*. Helsinki: Minerva. Retrieved from <https://oula.finna.fi/Record/oy.9917652168406252>
- Schlie, E. E. (2017). Weather extremes in a changing climate: Analyses for extreme precipitation, severe hail, and tornadoes. *Weather Extremes in a Changing Climate: Analyses for Extreme Precipitation, Severe Hail, and Tornadoes*,
- Semenza, J. C., D. E. Hall, D. J. Wilson, B. D. Bontempo, D. J. Sailor, & L. A. George (2008). Public perception of climate change: Voluntary mitigation and barriers to behavior change. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 479-487.
- Stott, P. (2016). How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352(6293), 1517-1518.
- Tiedote: Yhdysvaltojen maastopalojen savua havaittu Suomessa. (2020). Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/PQZ2HJRn2xxs8zCGFVfJ4>. 6.12.2020.

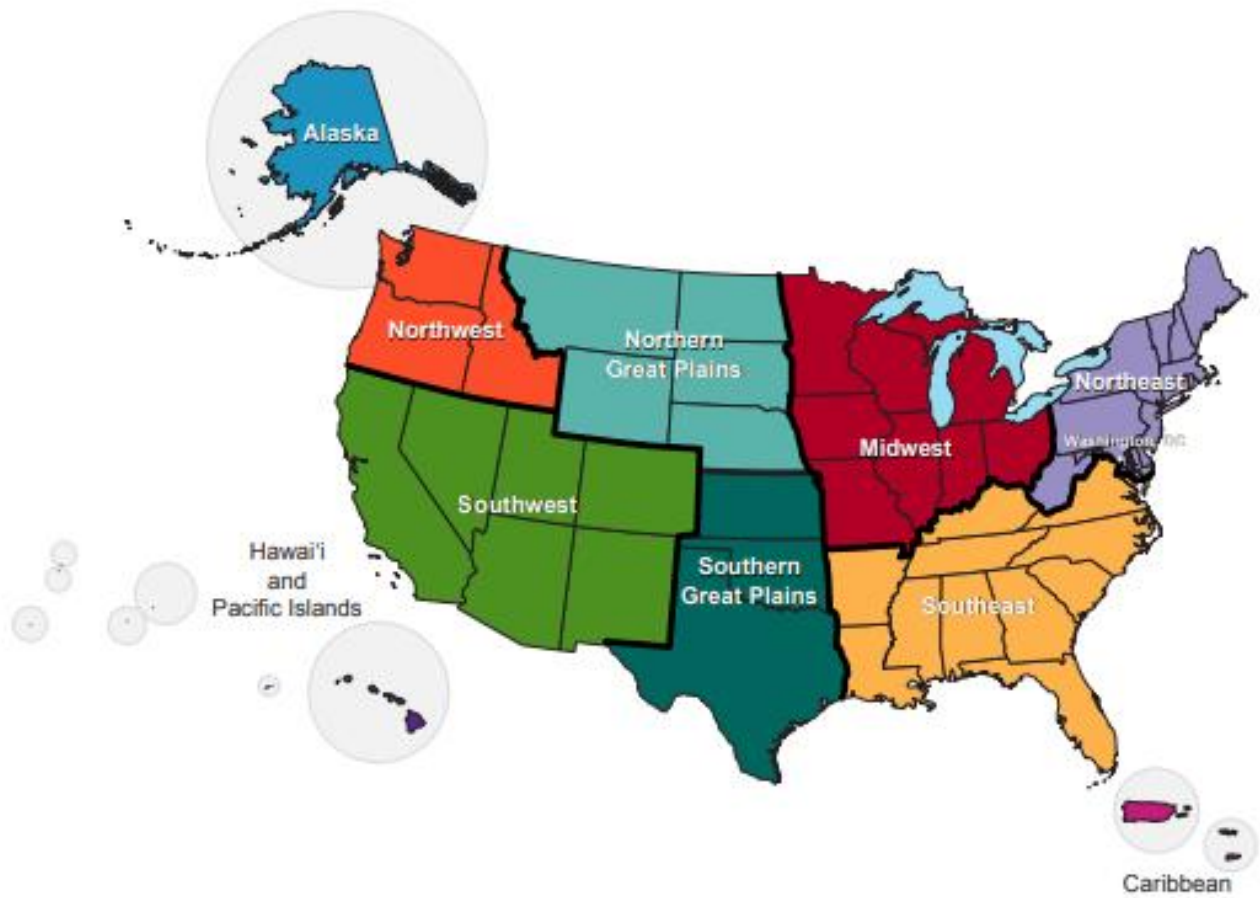
United States population (live). (2020). Worldometer. <https://www.worldometers.info/world-population/us-population/>. 6.12.2020.

Walthall, C. L., C. J. Anderson, L. H. Baumgard, E. Takle, & L. Wright-Morton (2013). Climate change and agriculture in the united states: Effects and adaptation.

Wuebbles, D. J., D. W. Fahey, & K. A. Hibbard (2017). Climate science special report: Fourth national climate assessment, volume I.

Zhang, C., K. Hamilton, & Y. Wang (2017). Monitoring and projecting snow on hawaii island. *Earth's Future*, 5(5), 436–448.

Liitteet

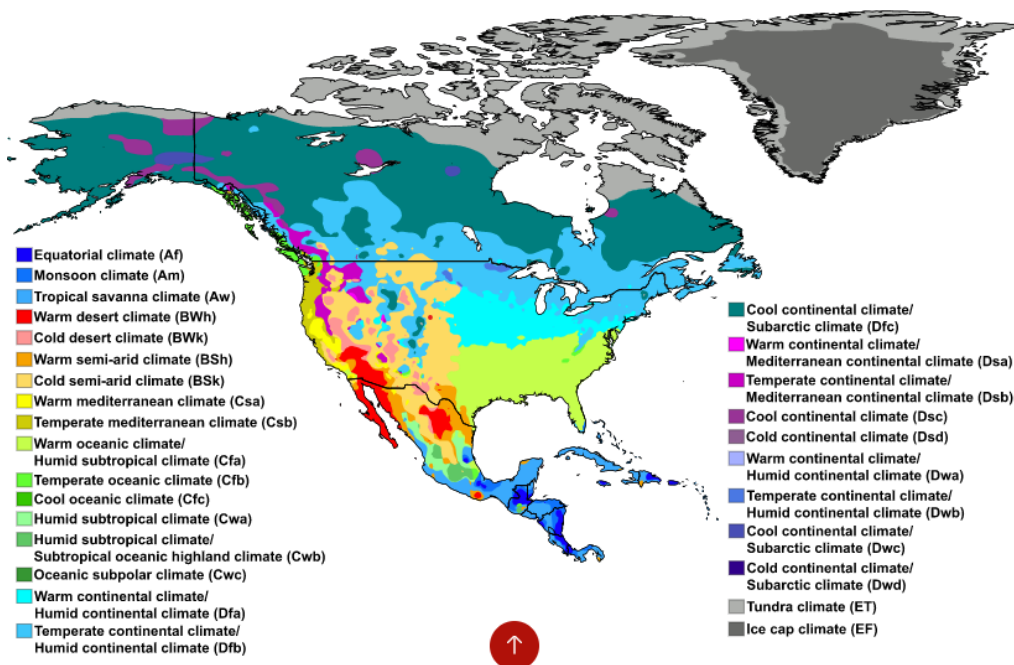


Kuva 1. Tutkimusalue ja sen jako eri osiin (Wuebbles 2017: 4)



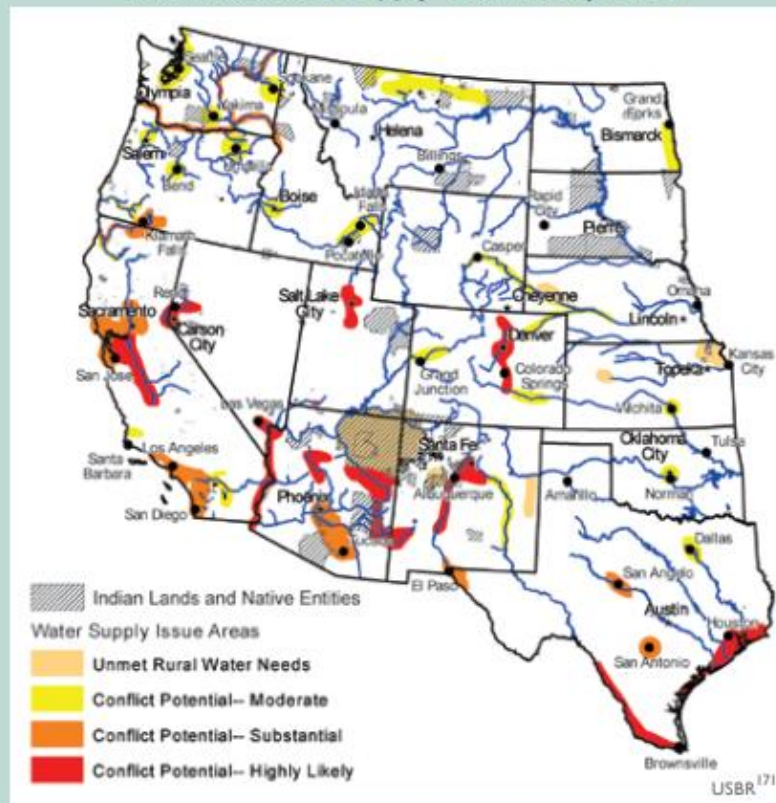
Kuva 2. Yhdysvaltojen metsätyypit (Introduction... 2009)

North America map of Köppen climate classification



Kuva 3. Yhdysvaltojen ilmastovyöhykkeet (Introduction... 2009)

Potential Water Supply Conflicts by 2025



The map shows regions in the West where water supply conflicts are likely to occur by 2025 based on a combination of factors including population trends and potential endangered species' needs for water. The red zones are where the conflicts are most likely to occur. This analysis does not factor in the effects of climate change, which is expected to exacerbate many of these already-identified issues.¹⁷¹

Kuva 4. Yhdysvaltojen lounaisosien vesipulan aiheuttamat mahdolliset kiista-alueet (Melillo 2009: 48)